

**PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA EM ENGENHARIA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**

JOÃO FERNANDO FRANCO BERTI

**PERSPECTIVA DAS FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA PÓS
PANDEMIA DO COVID-19**

São Paulo

2021

JOÃO FERNANDO FRANCO BERTI

**PERSPECTIVA DAS FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA PÓS
PANDEMIA DO COVID-19**

Monografia apresentada como exigência para obtenção do Título de Especialista em Energia Renovável, Geração Distribuída e Eficiência Energética, no Programa de Pós-Graduação Lato sensu do Programa de Educação Continuada em Engenharia (PECE), da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo de Andrade Barreto.

São Paulo

2021

EU AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA (PEDIR PARA A BIBLIOTECA FAZER)

Sobrenome, Nome

"TÍTULO EM MAIUSCULAS." / Primeira letra do nome.Sobrenome- São Paulo, 2021. 61p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

1. Sistema de Distribuição. 2. Redes aéreas. 3. Transformadores a seco. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. PECE – Programa de Educação Continuada em Engenharia.

DEDICATÓRIA

À minha mulher Fernanda, com amor, carinho e gratidão pela compreensão e incentivo durante todo o curso e na elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos.

Aos meus pais, João e Jane, aos meus amigos e colegas por darem mais significado à minha vida que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Aos meus colegas de curso que compartilharam comigo tantos momentos de descobertas e aprendizados e por todo o companheirismo ao longo deste percurso.

Agradeço imensamente o professor Gustavo Barreto que acreditou em mim para desenvolver este trabalho, e a todos os professores do PECE da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Agradeço também a você que se interessou por essa monografia, meu desejo é que tenha uma excelente leitura.

OBRIGADO.

“Na vida, não existe nada a
temer, mas a entender.”

Madame Curie

RESUMO

BERTI, João Fernando Franco. **Perspectiva das Fontes Renováveis de Energia Pós Pandemia do Covid-19. 2021.** 85f. Monografia (Especialista) Programa de Educação Continuada – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

O objetivo deste trabalho foi um estudo para avaliar as perspectivas de fontes renováveis de energia pós a pandemia do Covid-19, crise de saúde instalada em todo mundo com mudanças de hábitos das pessoas com distanciamento social afim de conter o contágio entre elas. Nesse contexto, este estudo busca uma compreensão e entendimento do comportamento das fontes renováveis de energia num horizonte próximo em anos e décadas, em geração energética e elétrica no Brasil e no mundo, observando aspectos específicos com tecnologias de geração, armazenamento e aspectos de utilização em todas áreas tangíveis, como governamentais, privados, comerciais, residenciais, rurais e etc. O objetivo do estudo proposto é ponderar estas informações à luz do conhecimento didático e científico disponível para estimar sua realidade quanto aos apregoados ganhos.

Palavras chave: Fontes renováveis de energia; Energia hidrelétrica; Energia eólica; energia solar; biomassa.

ABSTRACT

BERTI, João Fernando Franco. **Perspective of Renewable Energy Sources post-COVID Pandemic**. 2021. 85f. Monography (Specialist) Continued Education Program – Polytechnic School, São Paulo University, São Paulo, 2021.

The objective of this work was a study to evaluate the prospects of renewable energy sources post-COVID pandemic, health crisis installed worldwide with changes in people's habits with social distancing in order to contain the contagion between them. In this context, this study seeks an understanding and comprehension of the behavior of renewable energy sources in a near horizon in years and decades, in energy and electricity generation in Brazil and in the world, observing specific aspects with technologies for generation, storage and aspects of use in all tangible areas, such as government, private, commercial, residential, rural and etc. The objective of the proposed study is to weigh this information in the light of the didactic and scientific knowledge available to estimate its reality as to the claimed gains.

Keywords: Renewable energy sources; Hydropower; Wind energy; Solar energy; Biomass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Base da transição energética.....	17
Figura 2 - Emissões de CO ₂ em 2019/2020 - Brasil - OCDE - Mundo (tCO ₂ /tep)	26
Figura 3 - Energia x PIB em 2019 e 2020 - (%).....	33
Figura 4 - Potência elétrica instalada em geração - 2018/2019 e 2020 (GW).....	34
Figura 5 - Fósseis na matriz energética em 2019/2020 (%)	38
Figura 6 - Fósseis na matriz elétrica 2019/2020 (%)	40
Figura 7 - Fontes Renováveis de Energia em 2019/2020 - (%).....	42
Figura 8 - Nível dos reservatórios dos subsistemas no Brasil – (%)	54
Figura 9 - Expansão de Energia Eólica em 2018/2019/2020 - (TWh)	57
Figura 10 - Excedente de energia elétrica - 2018/2019 e 2020 - (TWh).....	64
Figura 11 - Produção de Etanol em 2018/2019/2020 (m ³)	72
Figura 12 - Produção de Biodiesel 2018/2019 e 2020 (mil m ³)	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Perspectiva da Transição Energética em seus desafios - 2050	20
Quadro 2 - Perspectiva nas mudanças climáticas em seus desafios - 2040.....	23
Quadro 3 - Perspectiva na Descarbonização em seus desafios - 2050	29
Quadro 4 - Perspectiva na Descentralização em seus desafios - 2040	31
Quadro 5 - Capacidade Instalada de Geração Elétrica	36
Quadro 6 - Geração e capacidade instalada de APE cativo em 2020.....	37
Quadro 7 - Potência instalada de geração elétrica - Renováveis - 2020 (GW)	37
Quadro 8 - Configurações da Oferta de Eletricidade, por Fonte – 2020 (%)	38
Quadro 9 - OIE no Brasil e Mundo (% e tep).....	39
Quadro 10 - OIEE no Brasil e no Mundo (% -TWh).....	41
Quadro 11 - Perspectiva na Hidreletricidade em seus desafios para 2040	47
Quadro 12 - Perspectiva na energia eólica em seus desafios para 2040	59
Quadro 13 - Perspectiva na energia solar em seus desafios para 2040	61
Quadro 14 - Projeções da geração distribuída fotovoltaica	63
Quadro 15 - Perspectivas tecnológicas biomassa e bioenergia	66
Quadro 16 - Produção de biomassa fins energéticos em 2050 - (Mtep)	68
Quadro 17 - Perspectiva na bioenergia em seus desafios para 2040	69
Quadro 18 - Produção de Biodiesel - por Estado Brasileiro (mil m ³)	73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Trajetória energética brasileira no longo prazo.....	32
Gráfico 2 - Oferta Interna de Energia no Brasil - 2020 (%).....	34
Gráfico 3 - Oferta de Potência de Geração Elétrica – 2020 (%).....	35
Gráfico 4 - Energia elétrica no Brasil em 2020 - (TWh - %).....	42
Gráfico 5 - Evolução da Capacidade Instalada e Contratada do SIN.....	43
Gráfico 6 - Demanda de Eletricidade para veículos leves em 2050	45
Gráfico 7 - Capacidade Instalada e Contratada do SIN – UHE	47
Gráfico 8 - Capacidade Instalada e Contratada do SIN – PCH + CGH.....	50
Gráfico 9 - Capacidade Instalada e Contratada do SIN – EOL + UFV	54
Gráfico 10 - Capacidade instalada fotovoltaica distribuída em 2050	62
Gráfico 11 - Projeção da geração de energia fotovoltaica distribuída em 2050	62
Gráfico 12 - Capacidade Instalada e Contratada do SIN – Biomassa	64
Gráfico 13 - Perspectiva da produção brasileira de etanol em 2050	70
Gráfico 14 – Demanda brasileira por etanol anidro em 2050	71
Gráfico 15 - Demanda brasileira por etanol hidratado em 2050	71
Gráfico 16 - Perspectiva da produção brasileira de biodiesel em 2050	72

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
BAU	Business-as-Usual
CO ₂	Gás Carbônico
COP21	21º Conferência das Partes ou “Acordo de Paris”
COP26	26ª Conferência das Partes
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
E2G	Etanol de segunda geração
GEE	Gases de Efeito Estufa
GN	Gás Natural
GWp	Giga-watts pico
ICAO	International Civil Aviation Organization
IEA	Agência Internacional de Energia
MtCO _{2eq.}	Milhões de tonelada de gás carbônico equivalente
Mt	Milhões de toneladas
NZE	Net Zero Emissions
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
RSU	Resíduos Sólidos Urbano
SEEG	Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa
tCO ₂ /tep	tonelada de gás carbônico por toneladas equivalente de petróleo
TWh	Terawatt-hora

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE QUADROS	10
LISTA DE GRÁFICOS.....	11
LISTA DE ABREVIações E SIGLAS.....	12
1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO.....	16
1.2 METODOLOGIA.....	16
2 QUESTÕES TRANSVERSAIS	16
2.1 TRANSIÇÃO ENERGÉTICA	17
2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	21
2.2.1 COP26 - CONFERÊNCIA CLIMÁTICA DAS NAÇÕES UNIDAS.....	23
2.2.2 EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE)	25
2.3 DESCARBONIZAÇÃO	28
2.4 DESCENTRALIZAÇÃO	29
3 MATRIZ ENERGÉTICA E ELÉTRICA.....	31
3.1 MATRIZ ENERGÉTICA DO BRASIL.....	32
3.2 MATRIZ ELÉTRICA, GERAÇÃO E POTÊNCIA DO BRASIL	34
3.3 MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL.....	38
3.4 MATRIZ ELÉTRICA MUNDIAL	40
4 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA PÓS PANDEMIA DO COVID-19	41
4.1 ENERGIA HIDRELÉTRICA.....	45
4.1.1 USINA HIDRELÉTRICA (UHE).....	46
4.1.2 CENTRAL (PHC) E GERAÇÃO (CGH) HIDRELÉTRICA	48
4.1.3 USINA HIDRELÉTRICA REVERSÍVEL (UHR)	50
4.2 CRISE HÍDRICA NO BRASIL.....	52
4.3 CENTRAL EÓLIELETRICA (EOL) E FOTOVOLTAICAS (UFV).....	54
4.3.1 ENERGIA EÓLICA	57
4.3.2 ENERGIA SOLAR	59
4.4 BIOMASSA E BIOENERGIA	64
4.4.1 BIOCOMBUSTÍVEL.....	69
4.4.2 ETANOL E BIODIESEL	72
5 RESULTADO E DISCUSSÕES	74
6 CONCLUSÃO.....	75

7	REFERENCIAS	77
	ANEXO A	81
	ANEXO B	82
	ANEXO C	83
	ANEXO D	84
	ANEXO E	85

1 INTRODUÇÃO

No começo da segunda década do século XXI, acontece uma pandemia viral mundial como nunca vista desde do início do século passado, causado pelo efeito da doença Covid-19, Síndrome Respiratória Aguda Grave 2 (SARS-COV-2), doença respiratória de grande consequência global de contágio e mortalidade.

Os efeitos da pandemia do Covid-19 causou mudanças de hábitos em condições sociais e econômicos, diretamente relacionado ao distanciamento social, uma das principais medidas para conter a disseminação do vírus preconizado pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

No Brasil segue a condição igual ao resto do mundo, com suas peculiaridades em particular, trazendo interrupções em muitas as atividades econômicas para o combater a proliferação do contágio do Covid-19, seguindo atualmente no ano de 2021, com a quantidade de casos e mortes e de pessoas vacinadas.

No início do segundo semestre de 2021, o Brasil passa por uma crise hídrica como nunca antes vista em 91 anos, segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), com os reservatórios das hidrelétricas de todo o Brasil, com níveis baixos de água causado pela falta de chuva, ocorrendo grande preocupação pelo governo brasileiro para atender a demanda de geração de energia elétrica, podendo ocorrer “apagões” semelhantes ao do início dos anos 2000, que foram tomadas ações do governo brasileiro da época, iniciando a tecnologia das fontes renováveis de energia, como por exemplo, energia solar, energia eólica, biomassa e outras, diversificando a matriz elétrica brasileira representando uma pequena parte, mas com muita eficiência e sustentabilidade, criando usinas solares (UFV) e parques eólicos (EOL) em várias regiões pelo Brasil.

1.1 OBJETIVO

O objetivo do trabalho é mostrar a perspectiva das fontes renováveis de energia pós pandemia do Covid-19, sendo mais sustentável e responsável em sua eficiência na matriz energética. O Brasil, em particular, desempenha um papel de destaque em frente ao resto do mundo com novas diretrizes, em um cenário futuro com o abandono de uso de combustíveis fósseis na matriz energética para o ano de 2050. (MME/EPE, 2020.)

1.2 METODOLOGIA

Bem como um estudo de revisão bibliográfica, a proposta desse trabalho vem trazer a análise sucinta e objetiva de dados e informações sobre as perspectivas de fontes renováveis de energia pós pandemia do Covid-19, onde foram verificados em multimídias digitais, rede de televisões, sites de instituições nacional e mundial, artigos e notas tecnológicas, relatórios e vídeos relacionados ao tema abordado mais recente, podendo sofrer alterações após estudos realizados.

2 QUESTÕES TRANSVERSAIS

Segundo o (MME/EPE, 2020.), vários fatores devem ter sua influência analisada e considerada no planejamento energético de longo prazo em um contexto de grandes transformações. Estas, por sua vez, decorrido frequentemente associadas à chamada transição energética, caracterizada especialmente pela descarbonização das matrizes energéticas em resposta à questão das mudanças climáticas, pela descentralização dos recursos energéticos e pela maior digitalização na produção e uso da energia. Além disso, o próprio papel do consumidor vem sendo alterando como resultados dos avanços tecnológicos e novos modelos de negócios. Nesse sentido, a evolução da Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) tem o condão de acelerar a introdução do Brasil nas transformações tecnológicas que se aguardam no cenário horizonte do PNE 2050 (MME/EPE, 2020.).

Os fatores descritos abaixo, foram agrupados nas chamadas questões transversais que condicionam e, em certos casos, são condicionadas a expansão da produção e uso de energia no Brasil. As questões transversais abordadas são:

- Transição energética;
- Mudanças climáticas;
- Descarbonização;
- Descentralização.

2.1 TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Na figura 1, a seguir, o conceito de transição energética envolve mudanças na estrutura da matriz energética.

Figura 1 - Base da transição energética



Fonte: (MME/EPE, 2020.)

Caracteristicamente, as transições de energia consistem em métodos complexos, com estágio e ritmo de mudança em diferentes países, regiões e localidades. No geral, não consistem em métodos lineares e destrutivos, mas com uma longa coexistência entre a fonte caracterizada e as fontes que se desenvolvem de modo sucedido. Fatores relacionados à transformação da infraestrutura de geração, transporte e uso de energia, explicando a mudança lenta dos sistemas energético em

todo o mundo. O atual processo de mudança energética foram baseado em condições como sustentabilidade, mudanças climáticas e inovação tecnologias relacionadas à tecnologia e à entrada na era digital (MME/EPE, 2020.).

Assim, o atual processo de mudança energética consiste em uma mutação em direção a uma economia de baixo carbono e menor pegada ecológica (ecopegada), uma ferramenta de cálculo da pegada ecológica que permite avaliar o consumo energético e produção de resíduos. Nesse contexto, existem incentivos para o uso mais eficiente dos recursos relacionados a participação de combustíveis, mais emissivos na matriz energética primária global em favor de fontes de baixo carbono (principalmente fontes renováveis de energia e Gás Natural (GN), como combustível de transição), bem como a eletrificação (refere-se a provisão de infraestrutura para o fornecimento de eletricidade) em processo de conversão de energia. Além disso, este processo ocorre em conexão com maior automação e processamento de processos, controles e serviços, possibilitando maior eficiência energética em maior parcela nas fontes renováveis de energia não despacháveis, ou seja, que não pode ser possível armazenar a fonte primária de energia onde também chamadas de intermitentes ou variáveis, nas quais o ONS tem pouco ou nenhum controle relativo a quantidade de energia gerada, assim como a energia eólica e energia solar, que não são armazenáveis (DIUANA; MORAIS ; VIVIESCAS, 2021.).

É importante notar que as mudanças na matriz energética primária consistem apenas na parte mais perceptível das transições energéticas. Isso ocorre porque as transições energéticas também implicam em mudanças profundas na tecnologia da base dos conversores (máquina térmica relacionada ao carvão mineral; motores de combustão interna, turbinas aéreas e a gás etc.), padrões de consumo em relações socioeconômicas e ambientais. Digitalização podem até evitar a movimentação física de bens e serviços, trocando parcialmente os fluxos de transporte por fluxos de informações (atividades à distância, impressão 3D, etc.). Essas mudanças podem ser ciclos de feedback (ato de dar retorno a resposta de uma atitude ou comportamento), nas relações socioeconômicas e ambientais por meio de mudanças nos fluxos de comércio e padrões de consumo. (MME/EPE, 2020.)

Tais transformações, que acompanham as transições energéticas, trazem também implicações para a geopolítica da energia, ao alterar as correlações de força entre os países ou regiões e seus respectivos stakeholders (qualquer indivíduo ou

organização que, de alguma forma, é impactado pelas ações de uma determinada empresa), que vem do inglês “parte interessada”. As modificações impactam produtores e consumidores da fonte primária hegemônica e suas cadeias tecnológicas associadas, bem como o leque de bens e serviços produzidos a partir dessa base tecnológica ou que lhe sejam relacionados. Ademais, redistribuem impactos sobre o meio ambiente, a sociedade e sua apropriação de riqueza. Destaca-se também, que tais transformações trazem oportunidades para o setor de energia, onde pode ser destacado, por exemplo, a revisão de estruturas jurídico-regulatórias que propiciem o reconhecimento dos atributos ambientais dos recursos energéticos, através de instrumentos tais como Certificados de Energia Renovável, Títulos Verdes (Green Bonds), além da Precificação do Carbono (MME/EPE, 2020.).

Em resumo, uma transição envolve diferentes dimensões e mudanças profundas no sistema socioeconômico e em sua relação com o meio ambiente. Além disso, esse processo é complexo e geralmente muito longo. A nova mudança energética será baseada na eletrificação (fontes renováveis de energia), biocombustíveis, eficiência energética (catalisada pela digitalização) e GN. Internacionalmente acredita-se que através da introdução de mais fontes renováveis de energia no setor elétrico, o GN, que é fortalecido e substituído pelo biogás / biometano, pode ser menos relevante no Brasil, por conta de seus recursos energéticos como os biocombustíveis em destaque nos mercados onde o processo de eletrificação enfrentam maiores desafios. As baterias podem melhorar seus resultados, também tendo um papel importante através dessa nova transformação, especialmente para garantir a confiabilidade do sistema no setor elétrico. No setor de transportes, as baterias também podem ter um papel relevante, mas podem competir com as células de combustíveis, em veículos elétricos, e biocombustíveis existentes no mercado (MME/EPE, 2020.).

É importante atentar o papel do hidrogênio na geração como fonte renovável de energia, pois muitas fontes são intermitentes e alguns setores somente podem usar energia elétrica ou biocombustíveis. Entre as alternativas para a produção de hidrogênio, a rota verde (EPE-DEA-NT-003/2021, 2021.) , a eletrólise da água a partir de fontes renováveis de energia elétrica , sendo avaliado a mais relevante internacionalmente onde o Brasil é mundialmente reconhecido com um enorme potencial. Vale ressaltar que, para atingir os objetivos do Acordo de Paris (COP21) de

2015, reduzir as emissões de gases estufa (GEE) para limitar o aumento médio de temperatura global a 2°C para o ano de 2030, grande parte do sistema energético mundial precisa ser descarbonizado. Por isso, cada vez mais fontes renováveis de energia precisam ser instaladas e integradas em setores que demandam energia, como transporte e indústria. No entanto, destaca-se a importância de um mecanismo que garanta a plena competição entre quaisquer soluções que atendam às necessidades do sistema, seja para lidar com a variabilidade das fontes renováveis energia ou quaisquer outras necessidades.

No Quadro 1, a seguir, observa as propostas de desafios e recomendações para os próximos anos.

Quadro 1 - Perspectiva da Transição Energética em seus desafios - 2050

Desafios	Recomendações		
	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050
Desenho de mercado e arcabouço regulatório e institucional não potencializam a transição energética	Promover a coerência e a sinergia de políticas públicas e desenhos de mercado		
	Adequar arranjos institucionais, regulatórios e de desenho de mercado apropriados para potencializar a transição energética		
Incertezas crescentes sobre condicionantes de evolução do setor	Desenvolver estratégias flexíveis para lidar com incertezas e baseadas nas vantagens competitivas do País, priorizando políticas sem arrependimento que evitem trancamento tecnológico		
	Reforçar alianças e redes estratégicas internacionais para desenvolver maior flexibilidade nas escolhas estratégias associadas a transição energética		
Transição Energética tem dimensões múltiplas (desenvolvimento, educação, trabalho)	Articular políticas energéticas com políticas de CT&I e educação, desenvolvimento de novas capacitações e vantagens competitivas		

Fonte: (MME/EPE, 2020.)

2.2 MUDANÇAS CLIMATICAS

A mudança climática é caracterizada como uma alteração “direta ou indiretamente atribuída à atividade humana, alterando a composição da atmosfera mundial, e que seja adicional àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis de tempo” (MME/EPE, 2020.) (PNE 2050 - UNFCCC - 1992).

Existem duas linhas principais de ação que podem ser identificados em relação aos impactos das mudanças climáticas:

- Esforços de mitigação: tende a limitar a reduzir GEE das atividades humanas. Brasil se destaca por sua matriz energética com números expressivos de fontes renováveis de energia onde emite muito pouco GEE por unidade de consumo de energia comparado com outros países. Porém, aguarda-se que na perspectiva de crescimento econômico ao longo prazo, à medida que as condições de pobreza caem, o consumo de energia por pessoas subirá, vista nisso, o valor total das emissões do setor de energia subirá até 2050;
- Adaptação: Expõe medidas para diminuir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos, e conhece que será necessário se adaptar até certo ponto, admitindo o conhecimento sobre quais alterações locais e temporais serão prováveis Avaliações mais complexas são necessárias onde envolvem mais incertezas e maiores desafios. Entende-se, a necessidade de avançar, principalmente em aprofundar o entendimento sobre as incertezas associadas.

Principais efeitos das mudanças climáticas no Brasil afetam diferentes sistemas naturais e humanos intensamente, consequentemente assim os diversos setores econômicos. O cálculo do risco climático a partir dos efeitos depende da exposição e vulnerabilidade do sistema (AdaptaClima, s.d.).

De acordo com o relatório do (IPCC, 2014.), gerado a partir das projeções de cenários climáticos, os principais efeitos das mudanças climáticas que comprometem e continuam comprometendo o Brasil e a América do Sul são:

- A temperatura na América do Sul no ano de 2100, com aquecimento de +1,7 °C, enquanto que no Brasil, +6,7 °C;
- Aumentos ou diminuições de chuva na América do Sul para o ano de 2100;
- Alterações nas chuvas indicam uma diminuição de 22,0% no Nordeste do Brasil e na Amazônia e um aumento de 25,0% no Sul e Sudeste do Brasil;
- As previsões para 2100 mostram um aumento nos períodos de seca no Nordeste do Brasil e na Amazônia, e dias e noites mais quentes em grande parte da região Sul do Brasil;
- O risco de escassez de água aumenta devido à diminuição das chuvas e ao aumento da evapotranspiração nas regiões semiáridas, o que afetará o abastecimento de água em lugares urbanos, a geração de energia hidrelétrica e a agricultura de subsistência em particular;
- Mudanças nos padrões meteorológicos e climáticos afetando drasticamente a saúde humana por meio do aumento da morbidade, mortalidade e incapacidade, e pelo surgimento de doenças em áreas anteriores não endêmicas;
- Existe uma correlação com um alto nível de confiança entre as mudanças climáticas com as doenças cardiovasculares e respiratórias. Os riscos à saúde pioram com taxas de crescimento populacional regional e com deficiências no abastecimento de água, esgoto, gestão de resíduos, nutrição, alimentação, etc.;
- O aumento médio relativo do nível do mar e com atividades humanas nos ecossistemas costeiros e marinhos, representam ameaças para as populações de peixes, corais, manguezais, recreações e turismos.

No Quadro 2, a seguir, observa as propostas de desafios e recomendações para os próximos anos no Brasil.

Quadro 2 - Perspectiva nas mudanças climáticas em seus desafios - 2040

Desafios	Recomendações		
	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050
Incertezas sobre o efeito de mudanças climáticas na oferta de energia	Aprimorar e ampliar base de informação, ferramentas computacionais e metodologias		
	Aumentar articulação com outros planos setoriais		
Garantia da segurança do abastecimento em eventos extremos relacionados às mudanças climáticas	Criar plano de mitigação de riscos relativos à segurança do abastecimento em caso de eventos extremos		

Fonte: (MME/EPE, 2020.)

2.2.1 COP26 - CONFERÊNCIA CLIMATICA DAS NAÇÕES UNIDAS

A 26ª edição da Conferência das Nações Unidas sobre mudanças climáticas (COP26) - sigla para “Conference of Parties”, Conferência das Partes, em português. - trata-se de um encontro anual para monitorar e revisar a implementação da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), da sigla em inglês, assinado por 197 países com o objetivo de reduzir o impacto da atividade humana no clima (COP26, 2021.).

Realizado no Reino Unido em parceria com a Itália, o encontro dos líderes mundiais aconteceu em novembro de 2021 em Glasgow, na Escócia. O ano previsto era 2020, mas à luz das consequências da pandemia de Covid-19, a conferência foi reprogramada para 2021, o que deu aos países mais tempo para se organizarem (COP26, 2021.).

O país que sedia o evento assume a liderança política e coordena as reuniões, o responsável da vez é o Reino Unido, com os líderes mundiais para tomadas de decisões que serão soberanas e valerão para todos os países signatários (COP26, 2021.).

A COP26 será determinante para futuro do planeta onde é preciso voltar para trás no Acordo de Paris (COP21), realizada na França em 2015, onde pela primeira vez todos os países concordaram em trabalhar juntos para conter o aquecimento global, que tem como objetivo combater o aumento da temperatura terrestre de 2,0 °C na temperatura global em relação à era pré-industrial (COP26, 2021.).

Os países comprometeram-se a apresentar planos definindo o quanto reduziriam suas emissões de GEE, visando atingir emissões líquidas zero em 2050. Para esses planos, deu-se o nome de Nationally Determined Contributions (NDC), da sigla em inglês onde em português significa “Contribuição Nacionalmente Determinada”, que envolve compromissos voluntários criados por países signatários do Acordo de Paris (COP21) no ano de 2015.

De acordo com a organização da (COP26, 2021.), são quatro as principais frentes de debates:

- Mitigação: Quais são as metas de diminuição de emissões de GEE dos países para o ano de 2030, de modo que se alinhem com o objetivo de conseguir emissões líquidas zero até a metade do século;
- Adaptação: Que medidas podem ser tomadas para adaptação e proteção de comunidades e ecossistemas afetados pelas mudanças climáticas;
- Finanças: Com o desenvolvimento de tecnologia, inovação e uma economia mais verde e resistente ao clima, viabilizar o financiamento indispensável para garantia de emissões globais cair para zero;
- Colaboração: Como acelerar a cooperação entre governo, empresas e sociedade civil para lidar com a crise climática e finalizar as regras do Acordo de Paris (CPO21) para torná-lo operacional.

A conexão entre a recessão global causada pela pandemia do Covid-19 e as questões climáticas também foram debatidas, para que o mundo estabeleça uma direção de recuperação econômica que leve importância aos desafios ambientais.

A NDC do Brasil apresentada na (COP26, 2021.) a seguir são:

- Reduzir as emissões de GEE em 37,0% para o ano de 2025, em comparação às emissões do ano de 2005.

- Reduzir as emissões de GEE de 47,0% para o ano de 2030, em comparação às emissões do ano de 2005.
- Zerar o desmatamento ilegal na Amazônia.
- Restaurar 12 milhões de hectares de florestas para ano de 2030.
- Aumentar a participação de bioenergia sustentável na matriz energética para 18,0%.
- Atingir entre 28,0% e 33,0% de energias renováveis não-hidrelétricas na matriz nacional até o ano de 2030.

Dezenas de países na COP26, incluindo o Brasil, assinaram um compromisso para reduzir as emissões de metano em 30,0% até o final da década no nível de 2020. China, Rússia e Índia não estão entre os signatários. Mais de 80 países assinaram uma carta de intenções preparada pelas Nações Unidas. Os Estados Unidos e a União Europeia (UE) se comprometem a reduzir como conduz de metano em 30% até 2030. Com isso, o biogás sofrerá nos próximos anos em sua produção, pois o metano é um do seu composto, com pouca oferta na expansão, mas lembrando de que as UTEs serão abastecidas com GN e biogás a partir de 2023 ou 2024, de acordo com o governo brasileiro.

2.2.2 EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE)

Em 2020, as emissões de gases de efeito estufa no Brasil foram de 383 milhões de tonelada de gás carbônico equivalente ($\text{MtCO}_{2\text{eq.}}$) de dióxido de carbono, mostrando redução de 5,5% nas emissões de 2019, redução de quase 6% Mundial, sendo 21% menor que o recorde de emissão de 2014 de 484,6 milhões de toneladas (Mt), ano de alta geração de energia térmica através das fontes de recursos fósseis.

Na Figura 2, a seguir, a relação entre as emissões e a Organização Mundial para Saúde Animal (OIE) foi de 1,33 tonelada de gás carbônico por toneladas equivalente de petróleo ($\text{tCO}_{2/\text{tep}}$) em 2020, um indicador 37,0% inferior ao bloco da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), e 41,0% abaixo do indicador mundial.

Figura 2 - Emissões de CO₂ em 2019/2020 - Brasil - OCDE - Mundo (tCO₂/tep)

Emissões de CO₂: Brasil emite bem menos pelo uso de energia				
Brasil	OCDE	Mundo	2019	
1,38	2,19	2,32		←tCO ₂ /tep
Brasil	OCDE	Mundo	2020	
1,33	2,12	2,27		←tCO ₂ /tep

Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

A retomada econômica pós pandemia do Covid-19 está causando pressão sobre o preço do petróleo aumentando seu uso, juntamente com o uso do carvão mineral, o que deve fazer que o Brasil tenha o segundo maior crescimento percentual em emissões GEE da história no ano de 2021, ocupando a quarta posição de emissão mundial. Isso atrapalha as renováveis, ao mesmo tempo em que acelera o aquecimento da Terra.

Segundo (KEVIN, Damásio, 2020.), as emissões de GEE no Brasil tem aumentado na pandemia do covid-19, como demonstra a seguir:

- Mudanças de uso da terra, 44,0% das emissões;
- Agropecuária, 28,0% das emissões;
- Setor de energia, 19,0% das emissões;
- Processos industriais, com 5,0% das emissões;
- Resíduos, com 4,0% das emissões.

Segundo dados do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa (SEEG) do (Observatório do Clima, 2021.), durante a pandemia COVID-19, emissões de GEE no Brasil em 2020 aumentaram 9,5%. Por outro lado, devido à suspensão de voos, indústrias e serviços, as médias globais foram reduzidas em 7,0%.

A IEA, em seu relatório anual World Energy Outlook (WEO), da sigla em inglês onde em português significa “Panorama Energético Global”, afirma que mesmo com todas as promessas de vários países de zerar emissões líquidas de carbono em 2050, o mundo ainda não está nem perto de atingir o objetivo do Acordo de Paris (COP21), de estabilizar o aquecimento global em 1,5 °C (Observatório do Clima, 2021.).

Segundo a (EIA, 2021.), as políticas necessárias apenas atingem 20,0% dos 14,0 bilhões de toneladas de CO₂ (BtCO₂) que precisam ser reduzidas no ano de 2030

para atingir a meta, mesmo assim cumprem 40,0%, 6,0 GtCO₂, das reduções necessárias. Enfim, dos 14,0 bilhões de toneladas de CO₂ (GtCO₂) podem ser descontados com tecnologias existentes nos dias atuais onde o restante de 8,0 GtCO₂, podem e precisam vir de tecnologias que “estão em fase de protótipo ou de demonstração”, afirma o relatório do IEA (Observatório do Clima, 2021.).

O investimento em renováveis, eficiência energética e infraestrutura limpa em todo mundo, precisará ser galgado em ritmo acelerado dos atuais US\$ 1 trilhão de dólares para US\$ 3,3 trilhões de dólares até 2030.

Serão necessário grandes investimentos em quatro eixos:

- Eletrificação solidificada;
- Eficiência energética (com um declínio anual de 4,0% das emissões por dólar gerado no PIB);
- Corte radical das emissões de metano (um gás estufa com 28 vezes mais emissor do que o CO₂);

Em maio de 2021, a IEA ao publicar um estudo pioneiro mostrando que existe apenas um cenário possível para a estabilização do clima, onde envolve não conceder mais nenhuma licença nova para a exploração de petróleo e carvão mineral a partir do fim do ano de 2021 no mundo todo. Esse cenário chamado de Net Zero Emissions (NZE), da sigla em inglês onde em português significa “Emissões Líquidas Zero”, foi comparado no WEO ao das políticas apresentadas e promessas mais atuais do momento (Observatório do Clima, 2021.).

Enfim, mesmo com os compromissos NZE para 2050 feitos por Estados Unidos da América (EUA), União Europeia (EU), Japão e Canadá, o planeta ainda deve aquecer, na melhor das hipóteses 2,1 °C até o fim do século, contradizendo as políticas atuais de que nos levam a pelo menos chegar em 2,6 °C (Observatório do Clima, 2021.).

IEA descartou em definitivo suas projeções do chamado Business-as-Usual (BAU) da sigla em inglês onde em português significa “Conduta Normal dos Negócios”, cenário em qual os países não agem para controlar as emissões de GEE. A IEA provoca os governos e as empresas para agirem rapidamente em cima de

promessas insuficientes do Acordo de Paris (COP21) e abandonar o sistema energético gerados por combustíveis fósseis (Observatório do Clima, 2021.).

Segundo a EIA, em seu relatório demonstra que, pode ou não, chegar as metas climáticas anunciadas em tempo hábil onde possa haver resultados positivos. (Observatório do Clima, 2021.).

2.3 DESCARBONIZAÇÃO

A redução da emissão de GEE e da intensidade de carbono foram apontados como os principais objetivos relacionados à transição para uma economia de baixo carbono, definida como aquela que tem uma produção mínima de GEE na biosfera, com consumo menor de energia, baixa poluição ambiental e baixas emissões de carbono. No entanto, existem várias maneiras possíveis de atingir esses objetivos. Normalmente, os países tentam concentrar seus esforços de descarbonização na estratégia que melhor se adapta ao seu contexto e oferece benefícios socioeconômicos e ambientais (MME/EPE, 2020.).

Vários aspectos devem ser considerados na construção estratégica de descarbonização, que devem ser resumidos nas seguintes dimensões:

- Energética: Uma política consistente de descarbonização de energia deve priorizar a localização de fontes não emissoras e a melhoria da eficiência energética;
- Meio Ambiente: O uso de recursos energéticos devem minimizar os impactos socioambientais e atender às normas vigentes;
- Econômica: Uma estratégia de descarbonização comumente adotada pelos países está relacionada a uma trajetória que atendam às suas respectivas prioridades econômicas;
- Tecnológica: Os países buscam caminhos de descarbonização que estejam apropriadas às potencialidades locais e seus contextos industriais e de desenvolvimento tecnológico.

No que diz respeito ao setor energético, o conceito de descarbonização econômica tende a transição energética, que por sua vez inclui todos os esforços para reduzir a intensidade do carbono nas externalidades de emissão de CO₂. Assim como

o conceito amplo de descarbonização econômica, a transição energética pode ser realizada em inúmeros arranjos técnicos possíveis, e buscar se adequar às necessidades regionais de transporte, infraestrutura e de mobilidade características das matrizes energéticas e das redes.

No Quadro 3, a seguir, observa as propostas de desafios e recomendações para os próximos anos.

Quadro 3 - Perspectiva na Descarbonização em seus desafios - 2050

Desafios	Recomendações		
	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050
Manutenção da elevada participação de fontes não-emissoras na matriz energética	Produzir curva de custo de abatimento de emissões de GEE		
	Estruturar novos produtos, fomentar ações de eficiência energética e inovação relacionados com mitigação		
	Monitorar as políticas de mitigação para o setor de energia		
Construção de um desenho para a transição para economia de baixo carbono	Mapear as iniciativas, banco de informações e riscos associados à transição para economia de baixo carbono		
	Articular com outros setores e tomadores de decisões relacionados ao tema para garantir a coerência e consistência das políticas para implementação de medidas de descarbonização		

Fonte: (MME/EPE, 2020.)

É importante destacar que, de acordo com o Hydrogen Council (iniciativa global liderada por CEOs de 92 empresas líderes de energia, transporte, indústria e investimento), o hidrogênio é a espinha dorsal da transição para fontes renováveis de energia pós-Covid-19 podendo contribuir para as mudanças necessárias para reduzir as taxas de CO₂ em 60,0% até 2050, com uma população mundial crescendo para cerca de 11 bilhões de pessoas.

2.4 DESCENTRALIZAÇÃO

Fenômenos tecnológicos recentes, como digitalização, Internet das coisas e inteligência artificial, apresentam um impacto expressivo na sociedade, onde mudará profundamente o transporte, a energia e as comunicações. Relacionado a esses fenômenos encontra-se:

- Processo descentralizado de fluxo de informações;

- Tomada de decisão de investimentos, produção e prestação de serviços em todos os setores.

Na pandemia do COVID-19, a utilização do Home Office em diversas categorias profissionais demonstrou o sucesso da infraestrutura existente, o que permite repensar a gestão desse ambiente virtual e seu impacto nos custos e benefícios presenciais nos sistemas, levando à dispersão de moradias e descentralização do consumo.

Destaque para a geração de energia fotovoltaica distribuída. A dispersão dos sistemas digitais com autonomia e as decisões podem ser recuperados de forma descentralizada durante o atendimento da Indústria 4.0 (Quarta Revolução Industrial que engloba algumas tecnologias para automação e troca de dados) e o uso de blockchain (garante a segurança das transações de envio e recebimento de informações pela internet), a descentralização como medida de segurança realização de transações com rede de computadores que compartilham arquivos pela internet (ponto a ponto), uma rede de computadores que compartilham arquivos pela internet (MME/EPE, 2020.).

No setor elétrico, as novas probabilidades empregadas pelas alterações tecnológicas desenvolverão de forma expressiva a oferta de serviços. Além do mais, eles deixam que novos provedores de serviços, incluindo consumidores e prosumidores, desempenham um papel cada vez mais ativo no sistema energético. Este papel positivo dos agentes se refletirá na tomada de decisão da descentralização trazendo mais complexidade e desafios ao setor. Por exemplo, isso se reflete em reduzir gradualmente como restrições, à seleção de fornecedores de energia especificadas no Regulamento da (Portaria MME nº 465/2019, 2019.), que versam sobre os limites de carga e tensão relativos a compra de energia elétrica por parte dos consumidores, onde atingirá 500kW em 2023, decidiu estudar medidas para permitir a abertura do mercado de baixa tensão. Nesse sentido, tanto o fluxo de informações quanto às decisões de planejamento operacional se tornarão mais descentralizadas tendo um grande impacto no sistema atual (MME/EPE, 2020.).

A descentralização do setor elétrico pode ser analisada sob três aspectos:

- Tecnologia: desafios estão relacionados à complexidade dos recursos operacionais colaborativos;

- Desenho de mercado: desafio de criar um ambiente que pode levar uma tomada de decisão eficaz dos agentes;
- Novos negócios: o maior obstáculo está relacionado ao papel da distribuição e ao surgimento de novos negócios.

Portanto, a médio e longo prazo, essas três dimensões se expandirão nos desafios.

Embora a descentralização comum estejam relacionada aos aspectos técnicos do setor elétrico, também existem interfaces e a dimensão da descentralização envolvendo outros setores, principalmente biocombustíveis líquidos e biogás em fábricas de pequena escala, representando mudança de padrão e descentralização combustível. Além do setor agrícola, há forte potencial de expansão da produção de biogás e biometano a partir de resíduos urbanos de forma descentralizada trazendo benefícios que vão além do setor de energético.

No Quadro 4, a seguir, observa as propostas de desafios e recomendações para os próximos anos.

Quadro 4 - Perspectiva na Descentralização em seus desafios - 2040

Desafios		Recomendações		
		2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050
Setor Elétrico	Nova realidade de operação dos sistemas de distribuição	Definir a granularidade das informações entre distribuidoras, prossumidores e demais agentes	Separar os serviços de distribuição e comercialização em diferentes agentes, com novos modelos de remuneração para os serviços de distribuição	Alcançar maior integração entre redes de transmissão e distribuição
	Valoração dos novos serviços de forma a maximizar os benefícios sistêmicos para o sistema elétrico	Criar mercado competitivo orientado aos requisitos dos sistemas em bases isonômicas	Criar mecanismos de compromissos entre as partes para provimento de serviços	
Setor de combustíveis	Redução de assimetrias de informação para engajamento de stakeholders	Desenvolver roadmap para utilização de biometano	Desenvolver sistemas de monitoramento da qualidade dos combustíveis obtidos a partir de resíduos, para a garantia do atendimento das especificações	
	Coordenação entre políticas públicas para potencializar projetos de pequena escala		Melhor articulação entre stakeholders em projetos relacionados aos biocombustíveis líquidos e biogás/biometano.	

Fonte: (MME/EPE, 2020.)

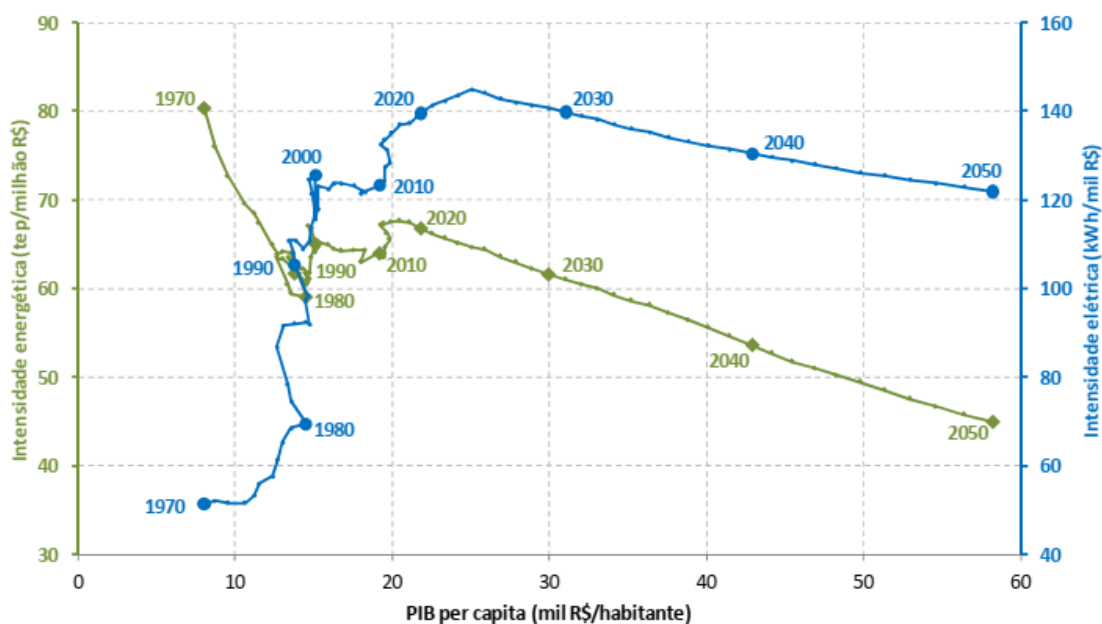
3 MATRIZ ENERGÉTICA E ELÉTRICA

A Matriz Energética e elétrica apresenta os principais indicadores de desempenho do setor em 2019 e 2020, em plena crise de saúde, em diversas áreas de fontes renováveis de energia.

3.1 MATRIZ ENERGÉTICA DO BRASIL

No Gráfico 1, a seguir, segundo (NT DEA 13/15, 2016.) observa o diagrama conhecido como “Sendero Energético”, no eixo Y contém as intensidades energética e elétrica, e no eixo X contém o Produto Interno Bruto (PIB) per capita. Com esse diagrama, pode-se comparar variáveis e avaliar o processo de eficácia da oferta e demanda de energia em um país, o direcionamento da economia brasileira foi bastante similar à desejada, uma diagonal decrescente (em vermelho), ou seja, no período de 1970 a 1980, houve combinação entre a redução do indicador intensidade energética com aumento do PIB per capita.

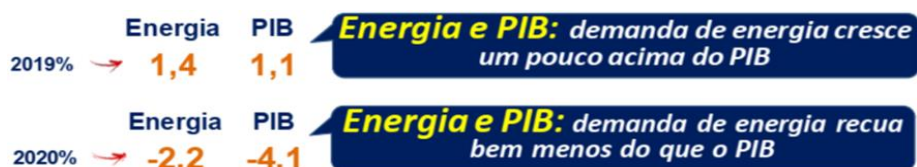
Gráfico 1 - Trajetória energética brasileira no longo prazo



Fonte: (NOTA TÉCNICA PR 07/18, 2018.)

Na Figura 3, a seguir, em 2020 o PIB foi de - 4,0% e a produção de energia foi de - 2,2%. A queda na demanda de energia foram menor do que o PIB (MME/EPE, 2020.).

Figura 3 - Energia x PIB em 2019 e 2020 - (%)



Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

A Oferta Interna de Energia (energia necessária para promover o desenvolvimento econômico regional durante um período) em 2020 foi de 287,6 toneladas equivalentes de petróleo (tep). Como resultado das ações tomadas para combater a pandemia do COVID-19, caiu 2,2% em relação a 2019. Em comparação com o recorde em 2014, 305,6 Mtep, em diminuição de 5,9%.

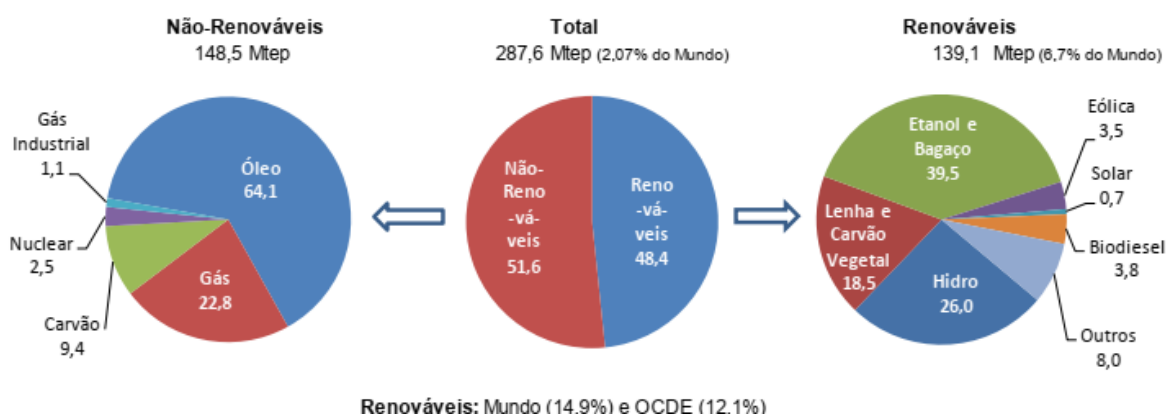
O setor de serviços foi severamente afetado pela pandemia do Covid-19, respondendo por mais de $\frac{2}{3}$ do PIB, e a participação de indicadores negativos. Na demanda de energia, alguns bens apresentaram resultados positivos, como a produção de açúcar, cimento, grãos, celulose e não ferrosos. Também devido à pandemia do Covid-19, as estadias e atividades domésticas das pessoas aumentaram, resultando num aumento de 4,1% no consumo de eletricidade e de 3,7% no consumo de gás de cozinha. Por outro lado, o consumo de energia dos automóveis leves movidos de fontes não renováveis, em 2020, caiu 9,3%.

Apoiada no crescimento da biomassa, energia eólica, energia solar e do biodiesel, a produção de energia renovável não foi significativamente afetada pela pandemia do Covid-19, com aumento de 2,5%. O abastecimento de água foi afetado pela falta de chuva, ocasionando uma grave crise hídrica no início do segundo semestre de 2021, e a lenha com maior contribuição negativa.

No gráfico 2, a seguir, ilustra a Oferta Interna de Energia. O gráfico central mostra as vantagens comparativas da participação de 48,4% das fontes renováveis de energias na matriz energética brasileira, contra apenas 12,1% nos países da OCDE e 14,9%, na média mundial. De 2019 a 2020, a participação nas fontes renováveis de

energias aumentou: etanol e bagaço 0,5%; biodiesel 0,2%; solar 0,3% e “Outros” 0,3%. A hidráulica caiu 0,8% e a lenha/carvão caiu 0,5%.

Gráfico 2 - Oferta Interna de Energia no Brasil - 2020 (%)



Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

3.2 MATRIZ ELÉTRICA, GERAÇÃO E POTÊNCIA DO BRASIL

Em 2020 a OIEE somou 645,9 Terawatt-hora (TWh), quantidade de 0,8% menor que em 2019 (-1,2% menor para o mundo com 26.670 TWh a menos). Geração de energia solar teve a maior taxa de crescimento em 2020 com 61,5%. A geração distribuída já responde por 45,0% da produção total. À medida que a energia solar avança sua participação cada vez mais no OIEE, as taxas de expansões anuais diminuem de 876,0% em 2017, para 316,0% em 2018 e 92,2% em 2019.

Na Figura 4, a seguir, observa em destaque a expansão da potência elétrica de geração instalada em 2018/2019 e 2020 em Gigawatts (GW).

Figura 4 - Potência elétrica instalada em geração - 2018/2019 e 2020 (GW)



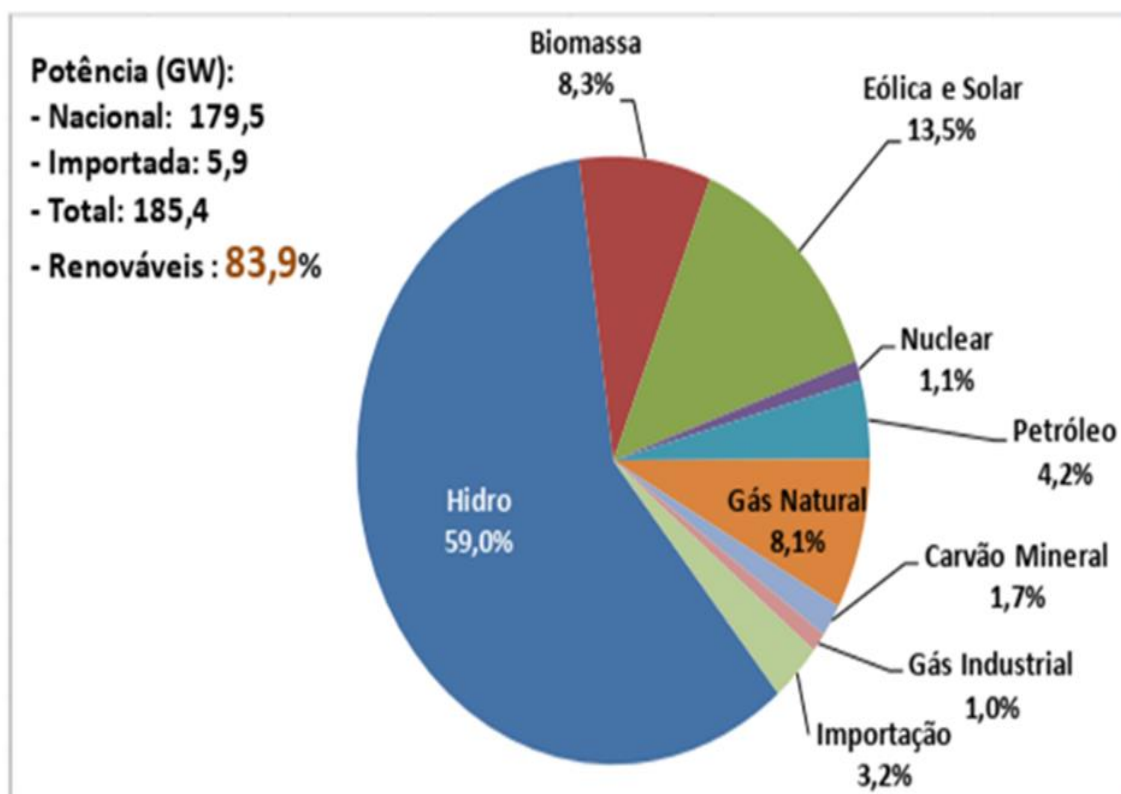
Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

Em 2020, o aumento líquido da capacidade instalada de geração de energia elétrica foi de 7,2 GW, onde as fontes renováveis de energia foram responsáveis por 79,0% recuando a participação de 0,2% da potência total, atingindo 83,4%. A maior expansão foi com a energia solar com 3,46 GW, totalizando 48,0% da expansão em conjunto com a Geração Distribuída (GD).

No início do segundo semestre de 2021, a potência instalada de GD foi de 6,185 MW, dos quais 6,021 MW foram de energia solar, onde foram 673 mil unidades consumidoras recebendo créditos, para 521 mil unidades geradoras.

No Gráfico 3, a seguir, demonstra a matriz de oferta de potência de energia elétrica no Brasil que foi de 179,5 GW em 2020, mostrando um aumento de 4,2% em relação ao ano de 2019, verificando a hegemonia da potência hidráulica com 62,2% de participação, incluindo as importações de 3,2 GW contratados totalizando 5,9 GW, onde resultam uma oferta total de energia de 185,4 GW. A participação das fontes renováveis de energia no Brasil foi de 83,9% onde 37,0% foi a participação mundial.

Gráfico 3 - Oferta de Potência de Geração Elétrica – 2020 (%)



Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

No Quadro 5, a seguir, demonstra a capacidade elétrica instalada de geração das fontes renováveis de energia 2019 e 2020 em sua estrutura e expansão.

Quadro 5 - Capacidade Instalada de Geração Elétrica

Fonte	2019	2020	Estrutura % de 2020	Expansão n-(n-1) MW
Hidroelétrica (*)	109.058	109.271	60,9	213
UHE	102.999	103.027	57,4	28
PCH e CGH	6.059	6.244	3,5	185
Biomassa	14.978	15.306	8,5	328
Bagaço de Cana	11.438	11.712	6,5	274
Bioqás	186	206	0,1	20
Lixívia e outras	3.354	3.388	1,9	35
Eólica	15.378	17.131	9,5	1.753
Solar	2.473	3.287	1,8	814
Urânio	1.990	1.990	1,1	0
Gás	15.303	16.825	9,4	1.522
Gás Natural	13.385	14.927	8,3	1.541
Gás Industrial	1.918	1.899	1,1	-20
Óleo	7.670	7.696	4,3	26
Do qual Óleo Combustível	3.316	3.256	1,8	-60
Carvão Mineral	3.228	3.203	1,8	-25
Desconhecidas	40	27	0	-13
Subtotal	170.118	174.737	97,3	4.618
Geração Distribuída	2.162	4.768	2,7	2.606
Solar	1.992	4.635	2,6	2.643
Eólica	10	15	0,0	5
Hidro	97	23	0,0	-74
Térmica	63	95	0,1	32
Total Nacional	172.280	179.505	100	7.225
Dos quais renováveis	144.049	149.764	83,4	5.714
Disponibilidade com importação	178.130	185.355		

Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

A potência de planejamento do Sistema Interligado Nacional (SIN) corresponde a geração transmitida e distribuída em redes públicas, excluindo o consumo próprio dos autoprodutores (APE), sem utilização da rede. Com base em dados coletados pela EPE, para o consumo de eletricidade do APE cativo e usando indicadores de índice de capacidade, foi possível estimar a capacidade instalada de alguns agregados de energia, dados relacionados são reproduzidos no Quadro 6, a seguir. Deve -se notar que foi adicionado uma capacidade de 3.343 MW, referente a plataformas de petróleo não registrada na Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL.).

No Quadro 6, a seguir, demonstra a geração e capacidade de APE cativo no ano de 2020 pelas fontes renováveis de energia em Gigawatts-hora (GWh).

Quadro 6 - Geração e capacidade instalada de APE cativo em 2020

Fontes	GWh	MW com registro ANEEL	MW sem registro ANEEL (*)	Total MW	Fator de Capacidade
Hidro	2.710	1.022		1.022	0,30
Termo	55.711	10.929	3.343	14.272	0,50
<i>Fósseis</i>	29.584	3.622	3.343	6.965	0,62
<i>Biomassa</i>	26.127	7.307		7.307	0,41
<i>Bagaço</i>	15.108	4.312		4.312	0,40
<i>Outras</i>	11.019	2.995		2.995	0,42
Eólica	4	1		1	0,38
Solar	2.296	1.747		1.747	0,15
Total	60.721	13.699	3.343	17.042	0,45

(*) Inclui plataformas de produção e exploração de petróleo. O fator de capacidade de fósseis não inclui potência de backup a diesel. Nota: a solar inclui potência de geração distribuída (exclui parcela de injetada).

Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

Usando a potência total instalada no Quadro 5 e os dados no Quadro 6 logo em seguida, é possível construir o Quadro 7, a seguir, para distinguir SIN, sistemas isolados e APE Cativo, este último considerando apenas o registro da ANEEL.

No Quadro 7, a seguir, a primeira coluna é a capacidade projetada do SIN, sua geração de eletricidade e a expansão da linha de transmissão levam a programação de leilões. Neste caso, a capacidade instalada em 2020 será 170,9 GW, incluindo 3,3 GW de importações contratuais.

Quadro 7 - Potência instalada de geração elétrica - Renováveis - 2020 (GW)

Fonte	SIN	Isolados	APE Cativo	Total
Hidráulica	66,7	25,6	7,5	62,1
<i>Nacional</i>	63,4	0,6	7,5	59,0
<i>Importada</i>	3,3	24,9		3,2
Térmica	18,5	74,4	79,8	23,3
Nuclear	1,2			1,1
Eólica	10,0		0,009	9,3
Solar	3,6		12,8	4,3
Total	100,0	100,0	100,0	100,0
Total (GW)	170,9	0,8	13,7	185,4

Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

A potência do SIN foi de aproximadamente 13,0 GW de APE, o que equivale a 32,7 TWh injetado e geração hídrica APE transitada na rede. A maior participação da hidráulica está na estrutura do SIN, 66,7% e participação total hidráulica é menor, 62,1% devido à maior presença de energia térmica nos Sistemas Isolados e em APE Cativo.

No Quadro 8, a seguir, demonstra a participação da geração hidrelétrica, de acordo com diferentes formas.

Quadro 8 - Configurações da Oferta de Eletricidade, por Fonte – 2020 (%)

Fonte	SIN	Isolados	APE Cativo	Brasil
Hidráulica	72,0	0,2	4,5	65,2
Nacional	67,7	0,2	4,5	61,4
Importada	4,3	0,0	0,0	3,8
Térmica	14,3	99,8	91,7	22,1
Fóssil	8,7	98,4	48,7	13,0
Renovável	5,6	1,4	43,0	9,1
Nuclear	2,4			2,2
Eólica	9,8		0,007	8,8
Solar	1,455		3,8	1,66
Total (%)	100,0	100,0	100,0	100,0
% renováveis	88,9	1,6	51,3	84,8
Total (TWh)	581,1	4,1	60,7	645,9
% participação	90,0	0,6	9,4	100,0

Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

3.3 MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL

Na Figura 5, a seguir, observa os fósseis na matriz energética mundial em relação ao Brasil.

Figura 5 - Fósseis na matriz energética em 2019/2020 (%)



Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

Em 2018, a demanda mundial de energia foi de 14.282 Mtep, de acordo com a IEA. Estimativas com base em indicadores da IEA, Conselho Mundial de Energia (WEC), Instituto Estadual de Floresta (IEF), Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA) e British Petroleum (BP) apontam aumento de 1,3% em 2019 (14,470 Mtep) e baixa de 3,8% em 2020 (13,915 Mtep)

Há 47 anos, a matriz energética do Brasil e de outros blocos mundiais mostraram mudanças significativas estruturais. No Brasil, há um forte crescimento na participação em energia hidrelétrica, bioenergia líquida e GN. Entre os países membros da OCDE, a energia nuclear cresceu fortemente e em seguida do GN. Em "outros" países, o GN cresceu fortemente também. Em todos os blocos houve uma diminuição na participação de derivados de petróleo.

No Quadro 9, a seguir, em relação à biomassa sólida, a OCDE apresentou uma expansão de 1973 para 2020, ao contrário do que foi verificado no Brasil e em outros países. Na verdade, na OCDE, verifica que o combustível fóssil vem sendo utilizado em vez de lenha, a utilização ainda foi mais proeminente em outras partes do mundo. Na OCDE, o uso de lenha, causador direto de GEE, tem aumentado em indústrias de papel e celulose onde o Brasil vem mostrando o caminho contrário utilizando novas tecnologias como a Lignina, um composto oriundo da árvore usada para geração de energia, como vapor e energia elétrica.

Quadro 9 - OIE no Brasil e Mundo (% e tep)

Fonte	Brasil		OCDE		Outros		Mundo	
	1973	2020	1973	2020	1973	2020	1973	2020
Derivados de Petróleo	45,6	33,1	52,6	33,0	29,9	23,8	46,1	29,4
Gás Natural	0,4	11,8	18,9	30,2	12,9	22,0	16,0	24,1
Carvão Mineral	3,2	4,9	22,6	13,8	31,1	35,7	24,6	26,2
Urânio	0	1,3	1,3	10,3	0,2	2,4	0,9	5,2
Hidro	6,1	12,6	2,1	2,4	1,2	2,6	1,8	2,7
Outras não Renováveis	0	0,6	0	0,5	0	0,1	0	0,3
Outras Renováveis	44,8	35,8	2,5	9,7	24,7	13,5	10,6	12,2
Biomassa Sólida	44,3	26,0	2,4	5,2	24,7	11,3	10,5	9,1
Biomassa Líquida	0,5	7,7	0	1,02	0	0,15	0	0,61
Eólica	0	1,71	0	1,70	0	0,67	0	1,04
Solar	0	0,321	0	0,93	0	0,72	0	0,77
Geotérmica	0	0	0,16	0,81	0	0,64	0,1	0,67
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
dos quais renováveis	50,8	48,4	4,6	12,1	26,0	16,1	12,5	14,9
Total - Mtep	82,2	287,6	3.741	4.949	2.105	8.281	6.109	13.915
% do mundo	1,3	2,1	61,2	35,6	34,5	59,5		

Notas: a) para 2020, a exceção do Brasil, estimativas DIE/MME com base em indicadores gerais da Agência Internacional de Energia; b) somente o Mundo inclui bunker: 2,7% da OIE de 2020; c) carvão inclui gases da indústria siderúrgica; d) "outros" exclui OCDE e Brasil

Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

Entre 1973 e 2020, o petróleo e seus derivados na matriz energética da OCDE diminuíram 19,4%, refletindo os esforços de substituição desses produtos, principalmente devido ao choque do preço do petróleo ocorrido em 1973 (de US\$ 3.00 por barril para os EUA US\$ 12.00), em 1979 (de US\$ 12.00 para US\$ 40.00) e depois em 1998 teve início um novo ciclo de aumentos. A pandemia COVID-19 houve diminuição do consumo de derivados de petróleo, em transporte, com previsão de queda de 9,3% em 2020. Em relação ao carvão, expectativa é de queda de 4,6%.

No Brasil, a maior participação do petróleo e seus derivados na matriz energética foi em 1979, chegando a 50,4%. A queda de 12,5% de 1973 a 2020 indica que o país também acompanhou a tendência mundial e fez grandes esforços para essas modificações em utilização de combustíveis fósseis, utilizando mais derivados da cana-de-açúcar, como etanol combustível e bagaço, para fins de energia térmica. Nos últimos anos, a energia eólica e a energia solar também agregaram com suas contribuições.

A presença de fontes renováveis de energia na matriz energética do Brasil registrou 48,4% de participação em 2020, ante 12,1% OCDE e 16,1% de outros países. O mundo tem uma taxa média de 14,9%.

Em relação ao mundo, os países da OCDE, com apenas 17% da população, são responsáveis por 42% de sua economia e por 36% de sua energia, mostrando assim um maior consumo de energia per capita e uma menor intensidade energética.

3.4 MATRIZ ELÉTRICA MUNDIAL

Na Figura 6, a seguir, observa vantagens comparativas do Brasil em relação a OCDE e de “Outros” países.

Figura 6 - Fósseis na matriz elétrica 2019/2020 (%)

	Brasil	OCDE	Outros
2019%	14,5	53,7	72,4
2020%	13,0	51,6	70,7

% de Fósseis na Matriz Elétrica:
vantagens comparativas do Brasil

Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

No Quadro 10, a seguir, observa em comparação com o mundo, que o Brasil tem um significativo diferencial na participação da energia hidráulica, de 65,2% em 2020, contra apenas 13,2% na OCDE e 16,3% em outros países. Em bioenergia sólida, o Brasil também se sobressai, com 9,1% de participação (forte geração a partir do bagaço da cana e lixívia, “Solução aquosa à base de hipoclorito de sódio, de uso doméstico generalizado, sobretudo como desinfetante ou como branqueador”). A energia eólica e energia solar estão crescendo em todas as regiões havendo sua diversificação do uso.

Quadro 10 - OIEE no Brasil e no Mundo (% -TWh)

Fonte	Brasil		OCDE		Outros		Mundo	
	1973	2020	1973	2020	1973	2020	1973	2020
Petróleo e Derivados	7,2	1,2	25,4	1,5	23,1	3,0	24,6	2,3
Gás Natural	0,5	8,3	11,6	29,6	14,2	20,3	12,2	23,8
Carvão Mineral	1,7	1,8	37,9	20,1	40,9	47,3	38,3	35,3
Urânio	0	2,2	4,2	18,4	0,9	5,0	3,3	10,3
Hidro	89,4	65,2	20,5	13,2	19,3	16,3	21,0	16,2
Outras não Renováveis	0	1,7	0	0,4	0	0,1	0,1	0,2
Outras Renováveis	1,2	19,6	0,3	16,9	1,6	7,9	0,6	11,8
Biomassa Sólida	1,2	9,1	0,2	3,2	1,6	1,3	0,5	2,3
Eólica	0	8,8	0	9,1	0	4,2	0	6,3
Solar	0	1,66	0	4,1	0	2,2	0	2,9
Geotérmica	0	0	0,1	0,5	0	0,2	0,1	0,3
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100
dos quais renováveis	90,6	84,8	20,8	30,1	20,9	24,3	21,5	28,1
Total (TWh)	65	646	4.472	10.704	1.579	15.318	6.115	26.671
% do mundo	1,1	2,4	73,1	40,1	25,8	57,4		

Notas: a) para 2020, a exceção do Brasil, estimativas do DIE/SPE com base em indicadores gerais da IEA; b) biomassa sólida inclui biogás, lenha, lixívia, bagaço de cana, resíduos de madeira, casca de arroz.

Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

4 FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA PÓS PANDEMIA DO COVID-19

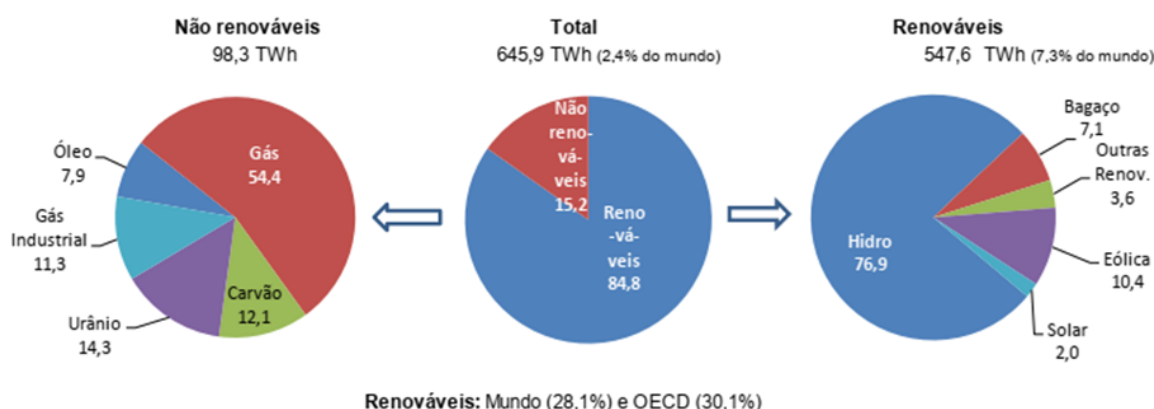
Em 2020, as fontes renováveis de energia foram responsáveis por quase 29,0% da geração global de energia elétrica, estabelecendo um recorde para um crescimento médio anual de 2,0%. No entanto, a desaceleração da atividade econômica e da liquidez da Covid-19 levou a uma queda na demanda de energia elétrica como uma das principais razões para esse recorde (EIA, 2021.).

As fontes renováveis de energias representaram 84,8% da matriz OIEE, 1,8% acima do verificado em 2019. Geração de energia eólica e por biomassa (bagaço de cana), foi maior no segundo semestre de cada ano completando sazonalidade da geração hidráulica. A energia solar já ultrapassou a geração de óleo (diesel e óleo combustível). No caso do bagaço, foram gerados 22,7 TWh foi excedente para o

mercado e 16,1 TWh para consumo próprio. Destaque para o aumento de 10,3% na produção por “outras fontes renováveis”, o biogás aumentou 15,7% (de 1.148 Giga watt-hora (GWh) em 2019 para 1.329 GWh em 2020).

No Gráfico 4, a seguir, ilustra a matriz da OIEE. O gráfico central mostra as vantagens dos 84,8% das fontes de energias renováveis na matriz brasileira. A média mundial foi de apenas 28,1%, e os países da OCDE são de 30,1%.

Gráfico 4 - Energia elétrica no Brasil em 2020 - (TWh - %)



Fonte: Resenha Energética Brasileira (2020, edição 9 de Julho 2021).

Na Figura 7, a seguir, as renováveis na matriz energética brasileira em supremacia em proporção comparado a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e resto do mundo.

Figura 7 - Fontes Renováveis de Energia em 2019/2020 - (%)



Fonte: Resenha Energética Brasileira (2020, edição 9 de Julho 2021).

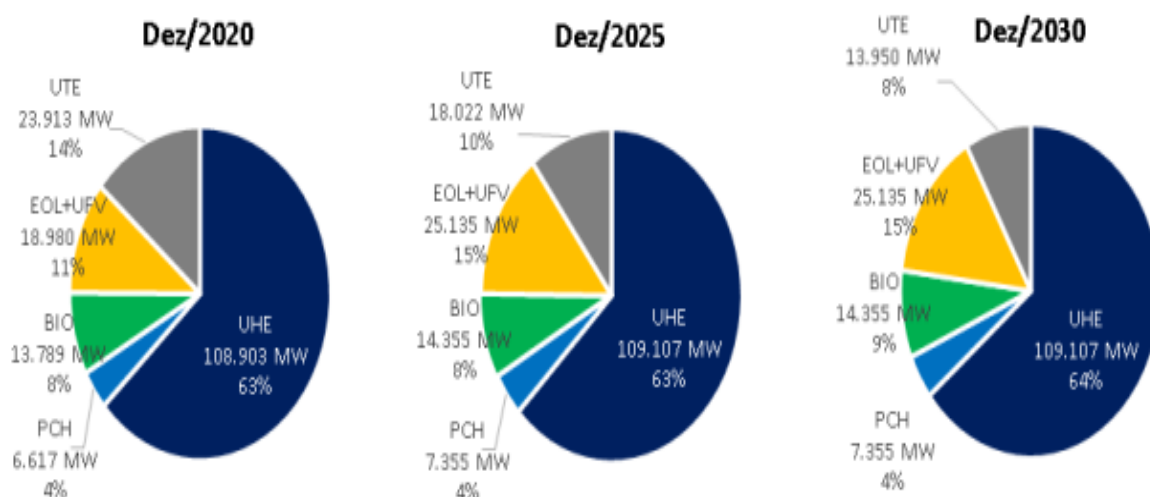
Em 2020, a geração de energia elétrica renovável aumentou 7,0%, com as tecnologias eólica e solar fotovoltaica juntas respondendo por quase 60,0% desse aumento (EIA, 2021.).

A geração de fontes renováveis de energia precisam continuar se expandindo quase 12,0% ao ano ao longo de 2021-2030 para atingir o nível NZE. Embora a nova

capacidade de produção de fontes renováveis de energia tenham atingido um recorde, o crescimento da geração de energia ainda está muito abaixo do nível exigido em 2020. Em 2050, para colocar o mundo no caminho certo e atingir um cenário NZE, todas as tecnologias renováveis precisarão ser implantadas mais rapidamente (EIA, 2021.).

No Gráfico 5, a seguir, demonstra o cenário brasileiro na evolução da capacidade instalada e de contratação do SIN.

Gráfico 5 - Evolução da Capacidade Instalada e Contratada do SIN



Fonte: (MME/EPE, 2021.)

Nota: (1) O montante apresentado como PCH inclui também as CGH existentes.

(2) Cerca de 90% do total incidido no gráfico por biomassa é por composto por usinas desta fonte, mas também estão contabilizados neste montante pequenas termelétricas que podem utilizar outros combustíveis.

A oferta inicial considera 2.975 MW de usinas termelétricas cuja potência disponível é nula.

Inclui a parcela da UHE Itaipu pertencente ao Paraguai, cujo excedente de energia é exportado para o mercado brasileiro.

A perspectivas de fontes renováveis de energia pós pandemia do Covid-19 serão apresentadas a seguir.

- Energia hidrelétrica;
- Energia eólica;
- Energia solar;
- Biomassa (Bioenergia e Biocombustíveis).

As fontes de energia eólica e energia solar têm demonstrado ser mais competitiva sobre as outras tecnologias candidatas expansão. Seguir em melhoria da

sua representação, tanto em termos operacionais e custos considerados, desenvolvendo essas tecnologias continuamente e harmoniosamente entre a necessidade de expansão do sistema e a cesta de oferta disponível no mercado. (MME/EPE, 2021.).

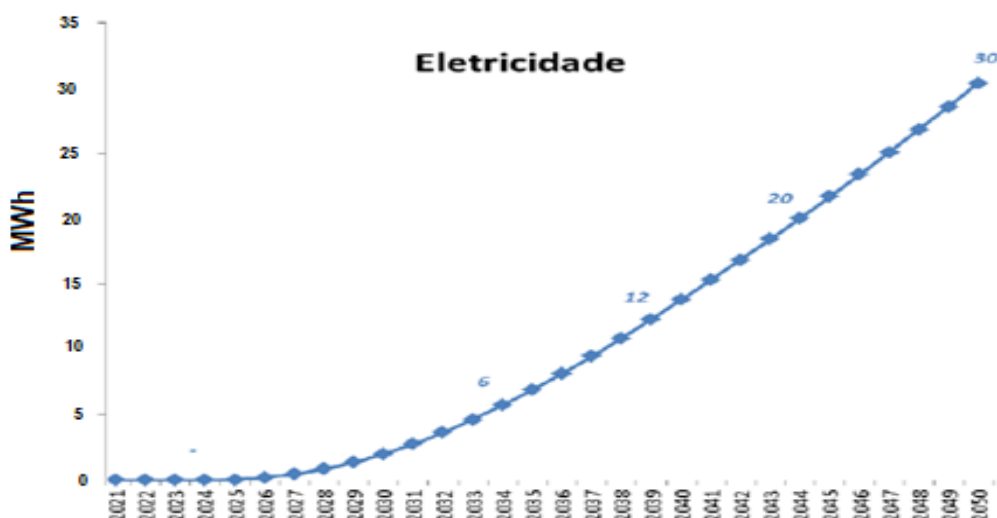
Outro aspecto importante da energia eólica e da energia solar é a probabilidade de "hibridização", ou seja, uma conexão conjunta de usinas eólicas e solares.

Candidatas para expansão, a possibilidade de contar com projetos padrão típicos de PCHs e CGHs, disponíveis a partir do ano de 2026. A representação dessa oferta mantém os importantes aperfeiçoamentos implementados, utilizando três patamares de custos de implantação para PCH.

O consumo residencial cresce em função do aumento do número de consumidores residenciais, 1,6% ao ano, que chegará a 87,0 milhões em 2030, e também pelo aumento do consumo residencial médio, 1,8% ao ano, atingindo 197,0 kWh/mês no final de 2030. O consumo por consumidor nos primeiros cinco anos excede o nível máximo histórico de 179,0 kWh/mês no ano de 1998 (MME/EPE, 2021.).

Na Gráfico 6, a seguir, observa no estudo que os veículos elétricos entrarão no mercado nacional no ano de 2025, quando representarão 0,5% do licenciamento de veículos leves, onde no ano de 2050, representarão 15,0% de todos os veículos leves licenciados. A demanda de eletricidade da frota elétrica alcançará 30,0 Milhõeswatts-hora (MWh), ou 348.600 mil tonelada equivalente de petróleo (mil tep).

Gráfico 6 - Demanda de Eletricidade para veículos leves em 2050



Fonte: (NT DEA 13/15, 2016.)

4.1 ENERGIA HIDRELÉTRICA

Os modelos de usinas de hidroeletricidade são apresentados a seguir;

- Usina Hidrelétrica (UHE);
- Pequena Central Hidrelétrica (PCH);
- Central Geradora Hidrelétrica (CGH);
- Usina Hidrelétrica Reversível (UHR).

De modo geral, as grandes hidrelétricas apresentam as vantagens de economia de escala e baixo custo de geração de energia, especialmente quando comparadas com os custos de outras fontes de geração de energia.

A hidroeletricidade vem ser qualificada através de uma tecnologia de investimento intenso onde cada projeto sendo definido de acordo com as características do local, portanto, possui uma solução técnica específica. Sua construção leva vários anos, sendo que o desenvolvimento de projetos técnicos (inventário, estudos de viabilidade técnica e econômica, etc.) e a obtenção de licenças ambientais costumam ser demorados.

Historicamente, a energia hidrelétrica sempre foi a principal fonte de geração de energia elétrica no sistema elétrico brasileiro, representando $\frac{2}{3}$ da instalação capacitada do parque gerador nacional em outubro de 2019. Em conjunto com outras fontes renováveis de energia (eólica, solar fotovoltaica e biomassa) permitirão ao Brasil ter um papel de destaque neste cenário Internacional, por possuir uma das matrizes com maior proporção de fontes renováveis de energia do mundo (cerca de $\frac{3}{4}$ da matriz elétrica). Além da proporção elevada de energia renovável, o sistema também apresenta baixo GEE caracterizando o sistema elétrico brasileiro diferente da média mundial.

4.1.1 USINA HIDRELÉTRICA (UHE)

As Usinas Hidrelétricas (UHEs) são empreendimentos de capacidade acima dos 30 Megawatts (MW) de potência com 222 unidades espalhados por todo o Brasil (CNPQ, 2020.).

Para manter uma alta participação de fontes renováveis de energia e baixas emissões de GEE por um longo período, a energia hidrelétrica traz um fator importante na expansão da energia em sistemas interligados trazendo muitos benefícios para a matriz energética brasileiras. Entre eles, sinergias com outras fontes renováveis de energia, flexibilidade operacional e capacidade de armazenamento de energia em seus recursos onde pode ser usado em horários do dia, na ausência de vento e / ou radiação solar, aumentando a confiabilidade da entrega de energia.

Desafios como a complexidade e a sensibilidade socioambiental de uma região se refletem nas políticas de proteção ambiental, nos conflitos sociais e nas demandas sobre a implementações de UHEs.

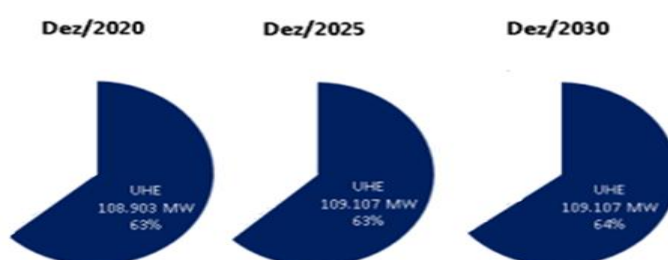
Considerar quatro possibilidades de exploração do potencial de UHEs:

- Apenas UHEs sem interferência em áreas protegidas: 12,0 GW;
- UHEs sem interferência em áreas protegidas e UHEs em áreas de unidades de conservação (UC) consideradas a partir de 2030: 22,0 GW (=12+10);
- UHEs sem interferência em áreas protegidas e UHEs em terras indígenas e quilombolas (TI) consideradas a partir de 2030: 30,0 GW (=12+18);

- Todo o potencial hidrelétrico inventariado (conforme definição na seção de Hidrelétricas), sendo as UHEs com interferência consideradas a partir de 2030: 52,0 GW (=12+10+18+12).

No Gráfico 7, a seguir, observa a evolução da instalação existente e contratada do SIN nas UHEs ilustrando a diversidade da composição desta oferta em 2020, 2025 e 2030, sem levar em consideração a expansão indicativa. Observa-se que a participação de energia hidrelétrica na matriz permanece praticamente inalterada.

Gráfico 7 - Capacidade Instalada e Contratada do SIN – UHE



Fonte: Autor, 2021.

No Quadro 11, a seguir, observa as perspectivas na hidreletricidade em seus desafios nas UHEs.

Quadro 11 - Perspectiva na Hidreletricidade em seus desafios para 2040

Desafios	Recomendações		
	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050
Melhor compreensão e esclarecimento do papel da geração hídrica e dos reservatórios no futuro do sistema elétrico brasileiro	Endereçar efeitos de eventual novo papel das UHEs na operação do sistema: avanços metodológicos e desenho de mercado		
Complexidade socioambiental para a expansão hidrelétrica	Ampliar os esforços de comunicação e diálogo com a sociedade em todas as etapas do processo		
	Promover agenda de diálogo para definir a compensação para as comunidades indígenas e os procedimentos de consulta		
	Ampliar a integração entre temas de energia e meio ambiente		
	Aumentar a articulação entre o setor elétrico e as instituições ligadas à questão hídrica		
	Estimular a elaboração de Inventários Hidrelétricos Participativos		
Modernização e repotenciação de usinas hidrelétricas	Aprimorar regras e ações que incentivem a modernização das UHEs		
Atualização do potencial hidrelétrico brasileiro	Rever o Manual de Inventário e as Instruções para os Estudos de Viabilidade		
	Equacionar a viabilidade financeira dos estudos de inventário e viabilidade		
Vulnerabilidade da geração hidrelétrica por efeito das mudanças climáticas	Melhorar a compreensão dos efeitos das mudanças climáticas na capacidade de geração das hidrelétricas em operação e nos potenciais de recursos inventariados.		
Expansão da integração energética na América do Sul por meio de UHEs	Estruturar as bases de dados e de informações com vistas à maior integração regional		

Fonte: (MME/EPE, 2020.)

4.1.2 CENTRAL (PHC) E GERAÇÃO (CGH) HIDRELÉTRICA

As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) são empreendimentos de 5,0 até 30,0 Megawatts (MW) de potência com 547 unidades espalhados por todo o Brasil. (CNPQ, 2020.)

As Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs) são empreendimentos que vão de 1,0 até 5,0 MW de potência com 738 unidades espalhados por todo o Brasil (CNPQ, 2020.).

Segundo o presidente do conselho da Associação Brasileira de Pequenas Centrais Hidrelétricas e Centrais Geradoras de Energia (AbraPCH) Pedro Dias, “As pequenas usinas são uma alternativa para superar a crise econômica neste momento, ocasionada pelo COVID-19, tendo em vista que o potencial hidrelétrico já identificado, estudado e com inventário aprovado junto a ANEEL prevê 1.752 novas PCHs e CGHs que totalizam R\$110 bilhões em investimentos” (CNPQ, 2020.).

A expectativa do setor, após a aprovação do Congresso Nacional da contratação obrigatória dessas instalações, para a construção de novas unidades avance cerca de 30,0%, conforme estipula a lei elaborada para a privatização das Centrais Elétricas Brasileiras S/A (Eletrobrás) (ARAUJO, 2021.).

A perspectiva reserva um cenário promissor para o segmento, composto por projetos com potência de 5,0 a 50,0 megawatts (MW), segundo o presidente da AbraPCH - Paulo Arbex - “O crescimento vem. O futuro das hidrelétricas PCHs e CGHs, assim como o da eletricidade, é brilhante”, disse em entrevista, citando o processo de transição energética pelo qual passa o mundo, com uma substituição de combustíveis fósseis pela energia elétrica. “O mercado vai crescer muito, não só pelo aumento do consumo per capita, mas também pelo crescimento por migração de mercado. A eletricidade vai assumir uma parcela grande do mercado que hoje é dos combustíveis fósseis”, acrescentou. (ARAUJO, 2021.).

De acordo com a lei de privatização da Eletrobrás aprovada pelo presidente Jair Bolsonaro em julho de 2021, o processo de privatização da empresa está condicionado à assinatura de contratos de leilão de PCHs, para atender a pelo menos 50,0% da demanda de declaração das distribuidoras ao preço máximo equivalente para geração. (ARAUJO, 2021.).

Os leilões alocarão pelo menos 50,0% da demanda de PCHs antes de atingir a marca de 2.000 MW, segundo previsão do texto lei no Congresso Nacional. (ARAUJO, 2021.).

Após a contratação dos 2.000 MW estabelecidos, o percentual de destinação deverá ser reduzido para 40% da demanda declarada pelas distribuidoras dos leilões 2026, diz o texto (ARAUJO, 2021.).

Segundo presidente da AbraPCH, essas mudanças representaram o fim do "inverno longo e sombrio", durante o qual as construções de hidrelétricas eram interrompidas e o setor enfrentavam desvantagens competitivas. "O Congresso se sensibilizou e aprovou essa medida em que há uma contratação mínima de 2.000 MW de hidrelétrica, porque está faltando. É a única renovável controlável, despachável, tem muitas vantagens", segundo afirmou ainda o presidente da AbraPCH. "Essa medida, em si, deve aumentar em uns 30,0% a construção de PCHs e CGHs no Brasil", acrescentou o presidente da AbraPCH (ARAUJO, 2021.).

A lei texto em questão, determina que as normas obrigatórias dos contratos priorizam os estados com número maior de projetos criados no setor, embora nenhum estado possa ter mais de 25,0% da capacidade total contratada (ARAUJO, 2021.).

Atualmente, segundo dados da AbraPCH, o Brasil possui 1.124 PCHs e CGHs em operação em todo seu território, com 5.943 MW de capacidade instalada onde estima-se que existe um potencial de investimentos de 131 bilhões de reais no setor (ARAUJO, 2021.).

A implementação das CGHs é muito simples, mais barata e causa poucos danos ao meio ambiente. Além disso, podem ser construídos em rios de baixo fluxo para facilitar o desenvolvimento local. As CGHs nem precisa de autorização da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) onde apenas basta o propósito a intenção de implantação e logo comunicar o pedido de licença ambiental também tendo incentivos legais e descontos para tarifas departamentais. (STORFER, 2021.).

Em comparação com as PCHs, que não deixam de ser boa alternativa para fontes limpas, são mais caras para realizar sua construção onde custam mais investimento e aplicação de estudos de inventário para análise do potencial hidráulico

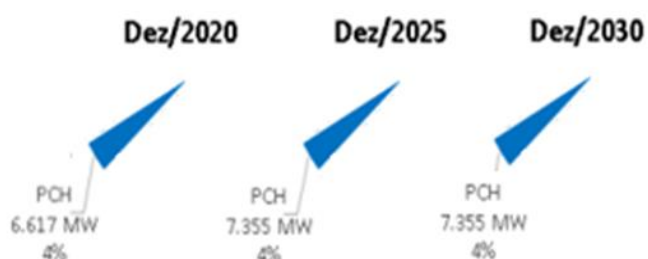
dos rios selecionados, bem como análise da ANEEL e aprovação de projetos com detalhamento técnico (STORFER, 2021.).

Especialistas do setor demonstram que as perspectivas para o setor de PCHs e CGHs são mais modestas neste momento. Em função da pandemia do Covid-19, houve uma diminuição das contratações e do desenvolvimento desse setor e, portanto, a ampliação da matriz energética brasileira por este aspecto, está desacelerada (STORFER, 2021.).

No Plano Decenal de Expansão de Energia (MME/EPE, 2020.) para os próximos 10 anos, estima-se que serão contratados 2.236 MW de PCHs e CGHs, dos quais 746 MW de 57 usinas já contratados. Aliado aos projetos de mercado livre e de geração distribuída de energia, esse número será ainda maior nos próximos 10 anos (STORFER, 2021.).

No Gráfico 8, a seguir, observa a evolução da instalação existente e contratada do SIN das PCHs e CGHs, ilustrando a diversidade da composição desta oferta em 2020, 2025 e 2030, sem levar em consideração a expansão indicativa. Observa-se que a participação de energia hidrelétrica na matriz permanece praticamente inalterada.

Gráfico 8 - Capacidade Instalada e Contratada do SIN – PCH + CGH



Fonte: Autor, 2021.

4.1.3 USINA HIDRELÉTRICA REVERSÍVEL (UHR)

Existem usinas hidrelétricas reversíveis (UHRs) em outros países, mas ainda são novas no Brasil. Elas podem promover fortemente a expansão de fontes renováveis de energia variáveis ou intermitentes (como energia eólica e energia solar)

para continuar provendo maior segurança, estabilidade, qualidade de suprimento e flexibilidade operativa ao sistema interligado nacional. Isso ocorre porque eles podem ser ativados rapidamente para atender aos momentos de pico de demanda e quedas repentinas na geração de energia eólica ou energia solar (ABDIB, 2021.).

São sistemas de geração de energia em grandes volumes de água bombeados de um reservatório inferior para outro superior quando a demanda é baixa e a energia elétrica é mais barata, de modo que permitir geração de energia com água despejando do reservatório superior para o inferior durante as horas de alta demanda, impedindo acionar usinas de fontes com maiores custos. Com o custo para bombear a água, as UHRs são favoráveis quando o valor da fonte térmica acionável no momento de pico de demanda é superior ao da geração proporcionada por elas (ABDIB, 2021.).

Alguns países usam UHRs. Em alguns casos, como em Portugal, para mitigar a alta variação da geração eólicas. Na Lituânia, existe um projeto importante para garantir a confiabilidade do fornecimento de eletricidade onde grande parte da demanda do país vem do cabo submarino da Suécia, que falhou várias vezes. Na Noruega, as reversíveis usam o movimento sazonal de derretimento do gelo para extrair parte da água que desce das montanhas para formar uma reserva de energia (ABDIB, 2021.).

Na China, o desenvolvimento da geração de energia por usinas reversíveis é impulsionado por muitos fatores. A China tem plano unificado, escolhendo racionalmente a localização e o escopo das UHRs, com metas planejados de cinco anos. O ajuste regulatório acorda em uma tarifa composta por duas parcelas, em energia e capacidade, para compensar os custos variáveis e os custos fixos, ao mesmo tempo, de forma a proporcionar a segurança mínima de retorno do investimento. Enfim, o estudo elaborado sobre a pré-viabilidade e viabilidade, conduzindo uma análise mais aprofundada para mitigar os principais riscos, como os riscos geológicos (ABDIB, 2021.).

Existem projetos e iniciativas de pesquisa e desenvolvimento em andamento para estudar o potencial de desenvolvimento e as características das UHRs brasileiras.

Uma obra em andamento está na região da Serra das Araras, no Rio de Janeiro, onde está localizado no Complexo das Lajes. Segundo análises do

(MME/EPE, 2021.), nesta área com relevos e desníveis de 300 metros entre os reservatórios que podem ser instalada uma UHR (ABDIB, 2021.).

O software utilizado é o Hydropower and Environmental Resource Assessment (HERA), um modelo computacional desenvolvido pela PSR, empresa que simula projetos de usinas hidrelétricas convencionais, calculando os custos relacionados à construção, equipamentos e custos relacionados aos impactos do projeto, como reassentamento populacional, remoção de estradas, compra de terrenos devido ao alagamento de áreas (ABDIB, 2021.).

O software utilizado simulou a possibilidade de UHRs ingressarem no planejamento de expansão do sistema elétrico até 2040, caso elas sejam capazes de apresentar competitividade. Além disso, sem as UHRs, o planejamento indicava a construção de 19.500 MW de potência de UTEs a gás, soma reduzida em 42% para 11.376 MW com a entrada de 9.293 MW de potência em UHRs. Teve deslocamento também na expansão antecipada de geração de energia eólica, mas em menor nível. A simulação demonstrou que, dos 9.293 MW de capacidade instalada em geração UHR que poderia ser construída, 7.916 MW estariam na Região Sudeste e 137,0 MW no Nordeste (ABDIB, 2021.).

No caso do ONS, quando muitas usinas eólicas e solares entram em operação, devem ter um sistema mais confiável à sua disposição. Consequentemente, será necessário ter mais UHEs para criar uma maior reserva operacional para fazer frente à variabilidade dessas fontes intermitentes (ABDIB, 2021.).

4.2 CRISE HIDRICA NO BRASIL

A água é o principal meio pelo qual as mudanças climáticas afetam os ecossistemas, estilos de vida e bem-estar social. As crescentes inundações, secas, incêndios florestais e furacões em todo o mundo colocaram milhões de pessoas em risco de fome, doenças, pobreza e escassez de energia, assim como a crise que mais uma vez assolou o Brasil 20 anos após levar a uma crise de falta de energia. O governo adotou medidas de racionamento (BARBOSA, 2021).

Vivemos um cenário hidrológico crítico onde a vazão é a mais baixa desde de 1930. Os principais reservatórios nas regiões Sudeste e Centro-Oeste apresentam

capacidade média de armazenamento de 28,3% logo no início do segundo semestre do ano de 2021, visto que a água armazenada há necessidade de ser utilizada para a geração de energia elétrica e pelo outro setores do Brasil. Segundo (EPE, 2020.), o problema deve se agravar até final do ano de 2021, quando recomeça o período chuvoso com a chegada do verão (BARBOSA, 2021).

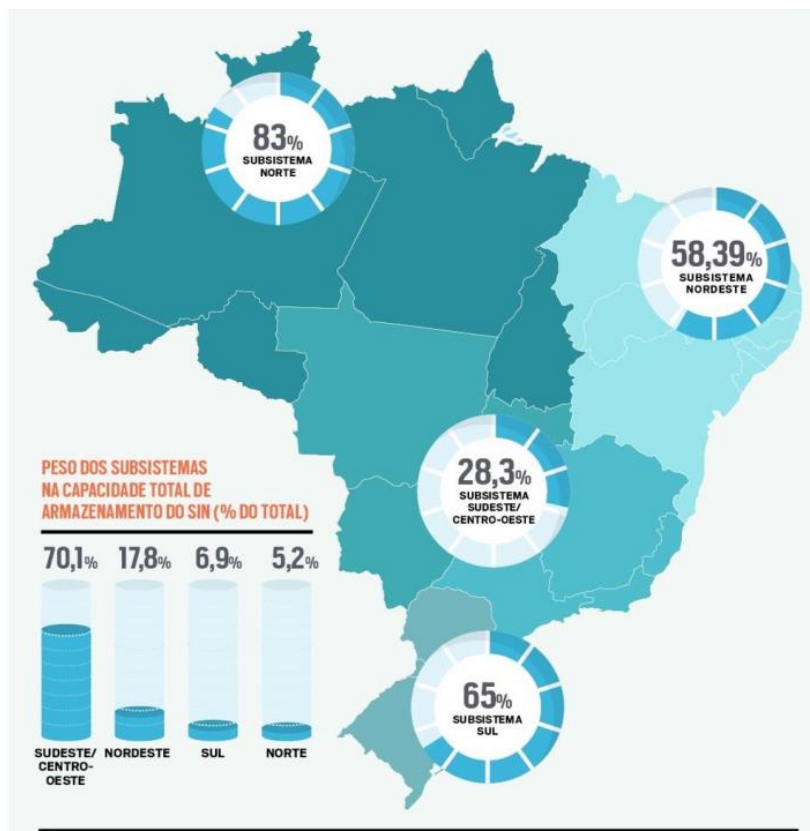
Não atingimos esses limites críticos sem avisos prévios. Os registros (EPE, 2020.) indicam falta de chuvas em seus subsistemas do sudeste e centro-oeste sendo responsáveis por aproximadamente 70,0% do consumo de energia do país, e no subsistema do Nordeste onde cobre quase 18% da demanda de energia caíram repetidamente abaixo da média histórica nos últimos sete anos (BARBOSA, 2021).

Em medidas para conter a escassez de abastecimento e evitar riscos de racionamento, o governo decidiu iniciar, em caráter emergencial, usinas termelétricas movidas a combustível fóssil. O peso da medida no bolso do consumidor deve chegar a 9,0 bilhões de reais, o que significa que os custos com energia vão aumentar mais 5,0%. Deve também afetar o balanço do GEE relacionado ao setor elétrico brasileiro. (BARBOSA, 2021).

A crise da hídrica não foi provocado pela pandemia do COVID-19, onde o problema de saúde já está controlado onde o trabalho foi totalmente restabelecido com recuperação do comércio e o aquecimento econômico, mas com ou sem a crise hídrica, provavelmente aumentará demanda de energia fazendo com que o crescimento econômico do governo brasileiro sejam mais baixo do que o esperado.

Na Figura 8, a seguir, demonstra a situação dos reservatórios dos subsistemas brasileiro, o sudeste/centro-oeste sendo mais afetado com a estiagem onde na capacidade do Sistema Integrado Nacional (SIN) representa 70,1% do total.

Figura 8 - Nível dos reservatórios dos subsistemas no Brasil – (%)

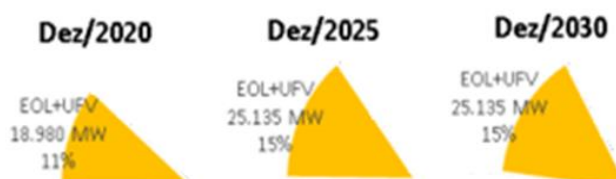


Fonte: (ONS, 2021.)

4.3 CENTRAL EOLIELÉTRICA (EOL) E FOTOVOLTAICAS (UFV)

No Gráfico 9, a seguir, observa a evolução da instalação existente e contratada do SIN das Central Geradora Eolielétrica (EOL) e Centrais Geradoras Fotovoltaicas (UFV), ilustrando a diversidade da composição desta oferta em 2020, 2025 e 2030, sem levar em consideração a expansão indicativa.

Gráfico 9 - Capacidade Instalada e Contratada do SIN – EOL + UFV



Fonte: Autor, 2021.

Por outro lado, identifica-se um crescimento relevante de fontes renováveis de energia, eólica e solar, juntas, correspondendo um aumento de 4,0% acrescentando 6,0 GW na capacidade instalada já em implantação, de dezembro de 2020 até o final de 2030 (MME/EPE, 2021.).

Em comparação com outras fontes renováveis de energia, a energia eólica e a energia solar são economicamente mais competitivas de forma a aumentar a sua representatividade em termos de operacionais e custos, as sinalizações dessas tecnologias são desenvolvidas de forma contínua e harmoniosa entre a demanda por expansão do sistema e a cesta de nível ao mercado. No entanto, a expansão em larga escala dessa parcela da oferta de energia apresenta desafios, como a necessidade de expansão de potência adicional, pois tem capacidade limitada para atender a demanda de potência e a variabilidade da produção, mesmo levando em consideração os efeitos de portfólio entre os parques. A contribuição de energia e potência são estimadas com base em fatores mensais demonstrado por regiões.

Além disso, uma análise inovadora da contribuição combinada da energia eólica e da energia solar capturou o impacto da dispersão espacial e da complementaridade diária. Portanto, embora a energia solar seja considerado isoladamente, resultará em contribuição nula, quando adicionado à energia eólica resultando em maior disponibilidade de energia do que a soma individual dessas fontes.

As incertezas existentes com relação às curvas de carga futura que os estudos de planejamento da expansão sejam conservadores a esse respeito, para garantir que o futuro atenda a todos os seus requisitos. Uma das novidades do PDE 2030 (MME/EPE, 2020.) será apresentar a avaliação da expansão de referência considerando uma projeção de curva de carga horária e a sinergia existente entre as fontes renováveis de energia variáveis e a demanda. Um avanço importante na melhoria da previsão da curva de carga, com o objetivo de obter mais conhecimento sobre os possíveis requisitos da demanda futura e como cada tecnologia facilita sua realização.

Outro aspecto importante da energia eólica e energia solar é a possibilidade de "hibridização", ou seja, uma conexão conjunta de EOL e UFV, que foi discutida pela

primeira vez no PDE 2027 (MME/EPE, 2018.) e em outros trabalhos publicados pela EPE nos últimos anos. (MME/EPE, 2020.)

Nesse PDE (MME/EPE, 2020.) foi analisada a tecnologia eólica Offshore como pretendente à expansão. Dados internacionais mostram que os custos de investimento, operação e manutenção são maiores do que as opções Offshore.

No Roadmap da Eólica Offshore Brasil (NT- EPE-PR-001/2020-r2, 2020.) é importante destacar os desafios a serem superados (tecnologia, indústria, portos, etc.) para diminuir o risco de implementação no Brasil.

Portanto, embora a tecnologia eólica Offshore não tenha se mostrado competitiva com outras opções expansíveis, deve-se observar que a evolução global com o desenvolvimento tecnológico, econômico e social, a pesquisa brasileira e o progresso legal e regulatório, bem como o fato de que o Brasil já existem investidores, pode mudar a tendência permitindo o uso e mudar as previsões para os próximos estudos, trazendo benefícios futuros importantes para o sistema elétrico.

A energia solar continua a se expandir rapidamente, como visto em leilões recentes e expansões de mercado livre em mercados regulamentados. Este crescimento, junto com o crescimento do modelo distribuído, foi acompanhado por um declínio de longo prazo no Levelized Cost of Energy (LCOE), da sigla em inglês onde em português significa “Custo Nivelado da Energia”, quando aplicado apenas à energia solar, permitindo comparar diferentes produtos, tecnologias e arquiteturas, indicando quais delas entregam o menor custo pela energia, na última década. Essa tendência de mercado pode ser observada nos custos considerados nesse PDE (MME/EPE, 2020.)

4.3.1 ENERGIA EÓLICA

Na Figura 9, a seguir, observa em destaque a expansão da fonte renovável de energia eólica em 2019/2020 em terá-watts hora (TWh) na matriz energética instalada brasileira.

Figura 9 - Expansão de Energia Eólica em 2018/2019/2020 - (TWh)



Fonte: Resenha Energética Brasileira (2020, edição 9 de Julho 2021).

No Quadro 14, a seguir, demonstra que em 2019 e 2020 o estado da Bahia foi o estado com maior geração eólica no Brasil, respondendo por 31,1% da geração eólica do país onde a geração total de energia seguida pelo estado do Rio Grande do Norte, com 25,8%.

Atualmente, o Brasil possui 695 parques eólicos e mais de 8.300 aerogeradores, segundo a Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica), assim sendo a segunda fonte de geração de energia elétrica no Brasil, com 10,3% da matriz energética, atrás apenas das hidrelétricas. A energia eólica chegou a atender 17,0% durante todo o dia em todo território brasileiro.

Os quatro maiores geradores de energia eólica estão localizados nos estados do Nordeste brasileiro, Rio Grande do Norte com a potência instalada de 5.154,2 MW, seguido da Bahia (4.879,6 MW), do Piauí (2.275,9 MW) e Ceará (2.179,3 MW). De 2011 a 2019, foram investidos no Brasil US\$ 31,3 bilhões, onde a cada MW instalado foram criados 15 postos de trabalho (CJB, 2021.).

No mundo em 2015 a 2019, a energia eólica gerou investimentos da ordem de US\$ 652,0 bilhões onde com esse aumento da capacidade eólica instalada para 2,0TW de capacidade até 2030, indicaria um investimento anual adicional de cerca de US\$ 207,0 bilhões de dólares à US\$ 2,0 trilhões dólares. Com o desenvolvimento de turbinas eólicas de próxima geração, a energia eólica continuará a ser a principal força

motriz para inovação e investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) (GWEC, 2020.).

A energia eólica têm boas perspectivas para o futuro, com leilões já consolidados e com mercado livre crescente e promissor. Segundo o presidente da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica) (CJB, 2021.) se observarmos até o ano de 2024, considerando apenas os leilões já efetivados, teremos cerca de 28,0 GW (18,0 GW no início de 2021), onde podem ser ainda maiores por não capturarem completamente o bom desempenho do mercado livre, somando valores conforme os novos contratos fechados. Segundo ainda o presidente da ABEEólica, um feito impressionante, não apenas dos bons ventos brasileiros, mas também de uma indústria que se dedicou a construir fábricas, trazer e implantar novas tecnologias onde trouxe mais competitividade.

Agências e grupos internacionais estimam que empregos diretos e indireto devem triplicar no mundo todo, passando de 1,2 milhões em 2018 para perto de 4,0 milhões em 2030 (GWEC, 2020.).

A energia eólica no Brasil atingiu certo equilíbrio, onde a pandemia do Covid-19 não afetou muito seu desempenho, que ao contrário, trouxe boas perspectivas de crescimento e da capacidade instalada anual. Segundo o presidente da ABEEólica, houve um momento na queda de demanda levando a impactar os próximos leilões de mercado regulado, que tendem a ser menores. No entanto, considerando que a energia eólica vive um período de expansão no mercado livre, isso tende a ter um impacto significativo sobre a indústria, o que pode equilibrar a falta de demanda no mercado regulado. Além disso, mesmo em leilões regulados, mesmo que sejam pequenos, sabemos que os parques eólicos tendem a ter um papel importante devido à sua necessidade e sinalização do PDE 2029 (CJB, 2021.).

No Quadro 12, a seguir, observa as perspectivas na energia eólica em seus desafios.

Quadro 12 - Perspectiva na energia eólica em seus desafios para 2040

Desafios	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050
<i>Preparar-se para uma matriz com grande percentual de geração variável não controlável</i>	<i>Aprimorar a previsão de geração eólica para fins de operação do sistema elétrico pelo ONS</i>		
	<i>Incorporar melhorias aos estudos socioambientais desenvolvidos para projetos eólicos em uma perspectiva de questões ambientais decorrentes de efeitos cumulativos</i>		
	<i>Integrar as perspectivas de expansão da geração eólica e o planejamento da expansão da transmissão</i>		
<i>Logística de transporte dos equipamentos eólicos</i>	<i>Articular com diferentes atores governamentais e setoriais para destravar gargalos logísticos associados ao transporte de equipamentos eólicos.</i>		
<i>Avaliar a capacidade portuária com vistas ao desenvolvimento eólico offshore</i>	<i>Articular com diferentes atores governamentais e setoriais para destravar capacidade portuária suficiente para a expansão eólica offshore</i>		
<i>Repotenciação e Descomissionamento dos parques eólicos</i>	<i>Estabelecer regras de descomissionamento</i>		
<i>Necessidade de construção de um arcabouço legal e regulatório que remova barreiras para que a eólica offshore possa ser candidata para a expansão, com segurança jurídica</i>	<i>Aprimorar o marco regulatório existente visando possibilitar a exploração do recurso eólico offshore</i>		

Fonte: (MME/EPE, 2020.)

4.3.2 ENERGIA SOLAR

A energia solar vem sendo a maior fonte do avanço anual da capacidade instalada do mundo (IRENA, 2020). Isso fica claro diante da queda dos preços observados nos últimos anos, bem como do investimento tecnológico em projetos em operação há mais de 30 anos, o enorme potencial técnico existente e a ausência de emissão de GEE durante as operações nos parques.

Essa tendência global sobrepõe-se também ao Brasil. Sua localização geográfica o Brasil recebe alta incidência da radiação solar (comparando com países com tecnologia fotovoltaica mais desenvolvida) e relativamente unificado no território brasileiro, para permitir desenvolver projetos solares viáveis em diferentes regiões. Então, considerando a redução de custos, a energia solar fotovoltaica se apresenta como uma alternativa competitiva e pode contribuir para o cumprimento dos compromissos do Brasil de redução de emissão de GEE.

Enfim, desenvolvido para integrar células fotovoltaicas em materiais de construção, como telhas e vidro, conhecida como building-integrated photovoltaics (BIPV), ou seja, Fotovoltaica integrada em edifícios que consiste na utilização de módulos fotovoltaicos que literalmente fazem parte da estrutura de um edifício em substituição de materiais de construção convencionais como coberturas de tetos, traga-luzes, claraboia ou fachadas. Um conceito que interage com a geração distribuída (GD) podendo entender como forma de eficiência energética ajudando a reduzir o consumo líquido dos edifícios.

Em comparação com a tecnologia solar térmica (heliotérmica), sendo um diferencial possibilitando um maior controle de despacho através dos métodos de sistema de armazenamento de calor podendo reduzir variações da geração energética aumentando o tempo de operação diário e permitindo contribuições para o sistema elétrico, como prestação de serviços auxiliares ou subsidiários. Porém recentemente, houve certa estagnação no aumento de novos projetos comerciais no mundo. Este contexto está atrasando o desenvolvimento de tecnologia, especialmente do ponto de vista econômico, com melhora mais lenta da curva de conhecimento e baixa economia de escala, com uma perspectiva de prosseguir como uma tecnologia relativamente cara para padrões brasileiros no horizonte futuro para fornecimento de energia. Deste modo, com as perspectivas atuais da evolução dessa fonte renovável de energia, as expectativas para o avanço dessa tecnologia no Brasil são baixas, pois a possibilidade de armazenamento e despachabilidade podem fazer com que um nicho de mercado de geração renovável no futuro, monitorando atividades internacionais verificando possíveis perspectivas futuras com desenvolvimentos tecnológicos.

Ao contrário de outras fontes, a distribuição de recursos de energia solar decorre relativamente uniforme no território brasileiro, onde a disponibilidade de recursos primários é quase ilimitada. Em um estudo anterior do (MME/EPE, 2020.), estima-se o potencial técnico de conversão fotovoltaica, excluindo unidades protegidas, terras indígenas, comunidades quilombolas, áreas de Mata Atlântica com vegetação nativa, áreas urbanas, reservas legalmente protegidas e área de preservação permanente.

No Quadro 13, a seguir, observa as perspectivas na energia solar em seus desafios.

Quadro 13 - Perspectiva na energia solar em seus desafios para 2040

Desafios	Recomendações		
	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050
Preparar-se para uma matriz com grande percentual de geração variável não controlável	Desenvolver novas ferramentas, tecnologias e modelos de negócios para previsão da geração solar e gestão da operação do sistema elétrico		
	Incorporar melhorias aos estudos socioambientais desenvolvidos para projetos de geração solar em uma perspectiva de questões ambientais decorrentes de efeitos cumulativos		
	Integrar as perspectivas de expansão da geração solar e o planejamento da expansão da transmissão		
Lidar com o descarte e reciclagem de equipamentos	Articular com diferentes atores governamentais e setoriais para endereçar a regulação relativa à reciclagem dos componentes do sistema fotovoltaico.		

Fonte: (MME/EPE, 2020.)

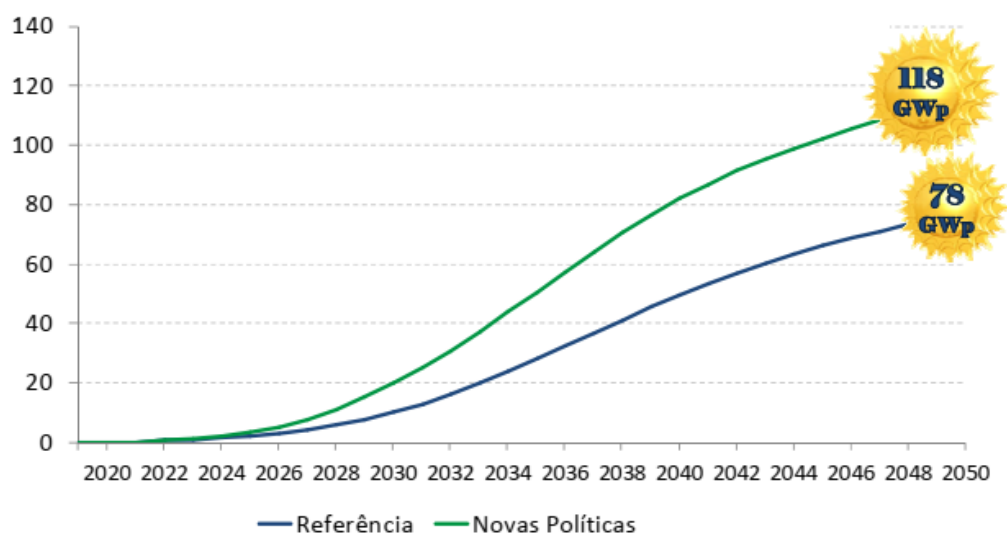
4.3.2.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA (GD)

A articulação desta tecnologia oferece grandes possibilidades para suas aplicações em GD na escala de mini geração em residências e comércios, onde vem ser a melhor escolha para consumidores que desejam gerar sua própria energia elétrica.

A perspectiva de ampliar essa modalidade geração de energia elétrica, vem ser necessário avaliar sua contribuição para o atendimento da demanda do consumidor.

No Gráfico 10, a seguir, observa as curvas de difusão da geração distribuída fotovoltaica no Brasil para longo prazo que foram sumarizados, em conjunto com os resultados da análise de sensibilidade que formam a trajetória “Novas Políticas” apresentando as projeções da capacidade instalada acumulada.

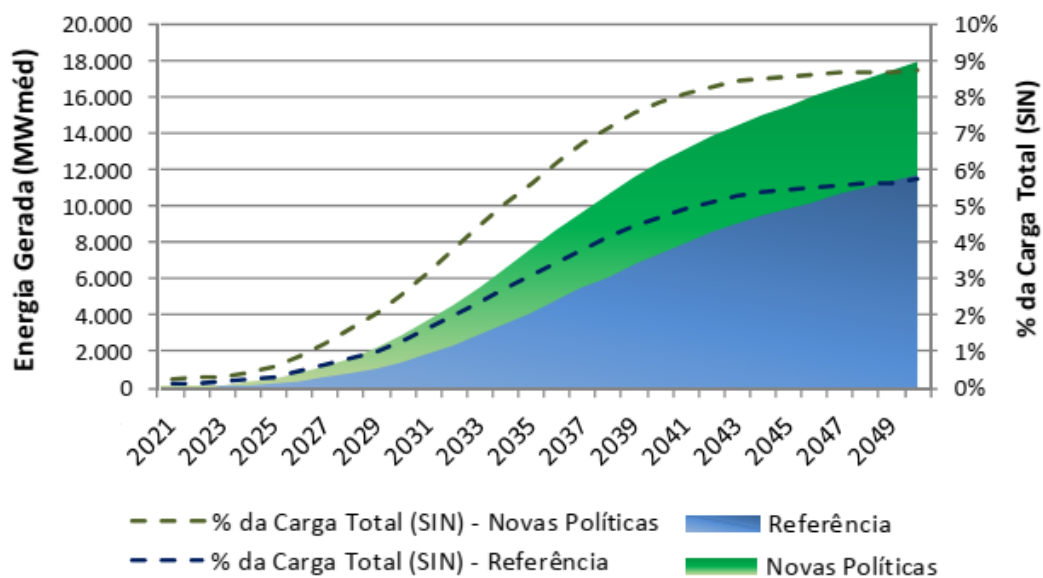
Gráfico 10 - Capacidade instalada fotovoltaica distribuída em 2050



Fonte: (NT DEA 13/15, 2016.)

No Gráfico 11, a seguir, observa a consequente energia gerada pelos sistema.

Gráfico 11 - Projeção da geração de energia fotovoltaica distribuída em 2050



Fonte: (NT DEA 13/15, 2016.)

No Quadro 14, a seguir, ilustra a consolidação da energia fotovoltaica, demonstrados nos Gráficos 9 e 10 anteriormente, para o ano de 2050.

Quadro 14 - Projeções da geração distribuída fotovoltaica

	Referência				Novas Políticas			
	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2040	2050
Potência Instalada (GWp)	0,5	10	50	78	1	20	82	118
Energia Gerada (MW méd)	78	1.523	7.466	11.797	153	3.001	12.511	18.029
% da Carga Total (SIN)	0,1%	1,3%	4,7%	5,7%	0,2%	2,6%	7,9%	8,7%

Fonte: (NT DEA 13/15, 2016.)

Portanto, espera-se que uma geração fotovoltaica distribuída atinja uma capacidade instalada no cenário de estudo de referência, aproximadamente 78,0 Giga-watts pico (GWp) para o ano de 2050.

Nos próximos vinte anos, a energia fotovoltaica deve se desenvolver e se tornar economicamente acessível. No entanto, o grande crescimento será no início da década de 2030, onde a GD de energia fotovoltaica esteja solidificada no mercado com baixo custo e aberto ao público em diversas modalidades de negócio onde consumidores já estejam habituado com o conceito de gerarem sua própria energia.

A projeção nos estudos realizado representa a convicção de que a GD deve desempenhar um papel importante no atendimento à demanda de energia elétrica no Brasil nos próximo anos, pois a estimada de geração será quase de 12,0 GW médios ao final do período, correspondendo 5,7% da projeção da demanda total de energia elétrica ao SIN. Essa parte da demanda está em linha com algumas projeções internacionais, segundo (EIA, 2021.), que prevê que 6,5% da produção total de energia mundial ocorre por meio de GD fotovoltaica para o ano 2050 (NT DEA 13/15, 2016.).

Para que o caminho das "Novas Políticas" se realizem com maior compromisso do governo, criando mecanismos de incentivo energético para que atinja 118,0 GWp de potência instalada, gerando pouco mais de 18 GW de energia elétrica correspondendo 8,7% da carga do SIN.

4.4 BIOMASSA E BIOENERGIA

No Gráfico 12, a seguir, observa a evolução da instalação existente e contratada do SIN de biomassa, ilustrando a diversidade da composição desta oferta em 2020, 2025 e 2030, sem levar em consideração a expansão indicativa. Observa-se que a participação de biomassa na matriz permanece praticamente inalterada nos anos de 2025 e 2030.

Gráfico 12 - Capacidade Instalada e Contratada do SIN – Biomassa



Fonte: (Autor, 2021.)

A bioeletricidade, derivado a partir do bagaço de cana de açúcar, continua tendo potencial competitivo na produção de energia elétrica no SIN. Embora as previsões de aumento da produção de açúcar e etanol signifique um aumento do aproveitamento energético do bagaço, dados históricos (EPE, 2020.) exibindo a eficiência do processo está cada vez maior e a demanda desse insumo por unidade de produto. O bagaço é gradualmente excedente e pode ser usado no setor de energia elétrica (MME/EPE, 2021.)

Na Figura 10, a seguir, observa em destaque os excedentes de eletricidade para o mercado em expansão em 2018/2019 e 2020 em TWh na matriz energética instalada brasileira.

Figura 10 - Excedente de energia elétrica - 2018/2019 e 2020 - (TWh)



Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

A oferta total de bioenergia em 2020 é de 96,9 Mtep, 1,906 mil bep/dia, a quantia equivale a 33,7% da matriz energética do Brasil, 29,3% em 2015. Os produtos da cana-de-açúcar (bagaço e etanol) com 54,9 Mtep, representando 56,7% da bioenergia e 19,1% da matriz energética. Com 25,7 Mtep, a lenha respondem por 26,5% da bioenergia e por 8,9% da matriz energética. Lixívia, biogás, resíduos de madeira, resíduos da agroindústria e biodiesel somam 16,4 Mtep, representando 16,9% da bioenergia e por 5,7% da matriz energética.

O Brasil é reconhecido por se beneficiário de suas condições edafoclimáticas (características climáticas do solo) que possibilita muitas variedades de fonte renováveis de energia onde a biomassa desenvolveram de modo mais abrangente. Diante de uma proposta tão promissora, a bioenergia pode ser considerada uma das alternativas mais promissoras à fontes renováveis de energia pós Covid-19, sustentável em um futuro próximo, sua produção deve continuar a acontecer em relação à proteção das florestas primitivas e estando em conformidade com o quadro legal de proteção ao meio ambiente.

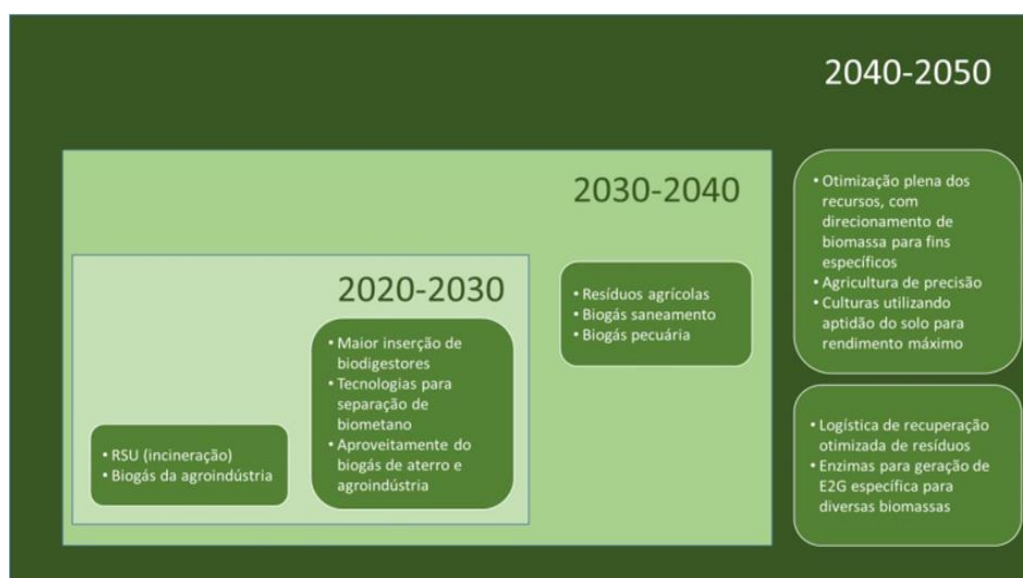
O aproveitamento da biomassa ocorre por meio de muitas diferentes tecnologias, sendo observadas nos insumos como valor calorífico, estado físico e aplicação. Segundo (MME/EPE, 2020.), o Brasil aproveita energeticamente, de forma direta, a lenha, o bagaço da cana-de-açúcar, a lixívia, resíduo do setor de papel e celulose, e cascas de arroz através da combustão e, através da transformação em biocombustíveis, os açúcares da cana dão origem ao etanol e os óleos de culturas oleaginosas, como a soja e o algodão, e os sebos ou gorduras animais são insumos para o biodiesel e diesel renovável. Ainda, segundo(MME/EPE, 2020.), além destas, há diversas biomassas alternativas disponíveis para o aproveitamento energético no país, como resíduos da cana-de-açúcar (palhas e pontas, vinhaça e torta de filtro), resíduos da indústria madeireira (cavaco), palhas das culturas de soja e milho, cascas de arroz e café, resíduos de coco, feijão, amendoim, mandioca e cacau, resíduos agroindustriais e pecuários de confinamento, lodo de estação de tratamento de esgoto e Resíduos Sólidos Urbano (RSU), entre outros, que podem ser utilizadas para combustão direta ou produção de biogás. Quanto a biomassa, fatores sazonais no processo produtivo, do setor agrícola, devem considerar o uso de sua capacidade energética, portanto, conforme as alterações mensais na oferta desses recursos.

O país tem grande potencial para aumentar a produção de biomassa, e pode aumentar a participação dos biocombustíveis no mercado nacional e internacional de forma sustentável. No entanto, especificamente o etanol, havendo crescimento maior, pode favorecer o aumento no mercado externo. O número de países produtores envolvidos no momento, cerca de 80,0% da produção global é atendida por apenas dois países: Brasil e Estados Unidos promovem diversificação na produção fortalecendo dos mercados brasileiros e outros pelo resto do mundo. (MME/EPE, 2020.)

No setor elétrico, o aumento da produção de biomassa levará a uma maior oferta de insumos energéticos renováveis que podem ser direcionados para geração de energia elétrica. Assim, passa a ser relevante analisar a utilização da palha da cana e de outras culturas para ampliação do fator de capacidade das UTEs que fazem uso desta fonte. Para tanto, faz-se necessário implementar sistemas de coleta que preservem as condições agronômicas e apresentem custos competitivos, além do desenvolvimento de alternativas para o armazenamento de biomassa até a entressafra e/ou de energia e outras rotas tecnológicas. (MME/EPE, 2020.).

No Quadro 15, a seguir, observa o caso do setor energético, insumos e tecnologias que ainda não são aproveitadas em grande escala onde a perspectiva para a entrada na matriz energética é identificada.

Quadro 15 - Perspectivas tecnológicas biomassa e bioenergia



Fonte: (MME/EPE, 2020.)

- A biotecnologia pode aumentar a eficiência em ganho na produção de biocombustíveis, tanto na parte agrícola como na indústria, aumentando a produtividade total do segmento. O desenvolvimento das várias variedades de transgênicos e enzimas, como adequação das etapas dos processos, para oferecer novos produtos;
- Novas tecnologias podem utilizar biomassa heterogênea de alta eficiência, aumentando o fornecimento de energia desta fonte. As alternativas atuais não são competitivas ainda no momento, mas no longo prazo espera-se que seja um consórcio de biomassa serem otimizado, minimizando ao máximo os resíduos desse processo. Deste modo, retirada de obstáculos nos métodos de produção de etanol de segunda geração (E2G), a partir de cana-de-açúcar, contribuem para o maior fornecimento dessa fonte. (CGEE, 2009);
- Semelhante ao GN, o biometano podem ser usados em frotas de veículos leves e pesados. Seu uso chegará a contribuições ambientais e econômicas, podendo abater a emissão de GEE e poluentes locais, fomentando a interiorização do gás fazendo com que surjam mais empregos e renda diminuindo a dependência de uso de combustíveis fósseis. No entanto, o potencial técnico e econômico de sua produção comercial, dependendo da escala, tornam-se mais atraente em sistemas onde os produtores de resíduos são caracterizados por alto consumo de energia existente em iniciativas de incentivo ao seu uso em todo o estado.

A bioenergia sólida tende a diminuir nos países em desenvolvimento, em termos relativos e absolutos, onde não acontecem mais substituição, mas, por outro lado, existe uma expansão da bioenergia líquida: etanol e biodiesel.

Em 2050, o potencial de biomassa chegará a 530,0 Mtep. A biomassa agrícola residual anual pode representar cerca de 165,0 Mtep, representando a principal fonte de potencial de fornecimento de bioenergia. Os produtos da cana de açúcar - bagaço, caldo destinado para etanol e palha e pontas de cana - ocupam o segundo lugar, respondendo por 152,0 Mtep. Além dos 17,0 Mtep do biodiesel obtido a partir do óleo de palma no bioma da Amazônia, as gorduras do biodiesel tem um potencial energético de 56,0 Mtep. A biomassa florestal e os resíduos da pecuária, este último usado na forma de biogás, podem acrescentar 95,0 Mtep e 28,0 Mtep, respectivamente. O potencial para o manejo florestal sustentável é de 32,0 Mtep (NT PR 04-18, 2018.).

No Quadro 16, a seguir, observa os potenciais da biomassa projetados para o ano de 2050.

Quadro 16 - Produção de biomassa fins energéticos em 2050 - (Mtep)

Biomassa (milhões tep)	2050
Resíduos Agrícolas	165
Biomassa Florestal Convencional	68
Manejo Florestal Sustentável	32
Gorduras para Biodiesel	27
Bagaço da Cana	57
Palhas e Pontas da Cana	95
Caldo para Etanol	56
Resíduos da Pecuária	28
RSU - Biodigestão da fração orgânica	1,7
RLU - Esgoto	0,8
Total Bioenergia	530

Fonte: (EPE, 2020.)

A ampliação da matriz energética vindo da biomassa pode aumentar expressivamente a oferta dessa fonte renovável de energia, através de diversos energéticos, tais como biogás, biometano e lenha para geração elétrica. Além do mais, como a maior parte do potencial vindo de dois grupos, a indústria sucroalcooleira e a biomassa residual, a ampliação desse potencial mostra inúmeras vantagens competitivas. Na indústria sucroalcooleira, a vantagem são os parques produtores e mercados instalados. Quanto a biomassa residual, a vantagem está no avanço da produtividade econômica, por meio da geração de valor a partir dos resíduos mitigando os impactos ambientais locais e regionais.

No Quadro 17, a seguir, observa as propostas de desafios e recomendações para os próximos anos.

Quadro 17 - Perspectiva na bioenergia em seus desafios para 2040

Desafios	Recomendações		
	2020 - 2030	2030 - 2040	2040 - 2050
<i>Concentração da produção de biocombustíveis em poucos países no mundo</i>	<i>Articular, junto com autoridades competentes, a participação em iniciativas para aumentar a diversificação de produtores de etanol no mundo</i>		
<i>Diversificação das biomassas para biocombustíveis e desenvolvimento de novos biocombustíveis</i>	<i>Aumentar a atratividade dos biocombustíveis em segmentos de transportes com maior dificuldade de descarbonização por meio de ampla articulação nacional e internacional com governos, instituições e sociedade</i>		
<i>Diversidade de qualidade do produto e assimetria de informação</i>	<i>Articular, junto com autoridades competentes, a divulgação do cumprimento da legislação de proteção ao meio ambiente na cadeia de produção dos biocombustíveis</i>		
<i>Diversidade de atores estabelecendo políticas públicas para o setor de transportes</i>	<i>Aumentar a convergência entre as políticas correlatas aos biocombustíveis</i>		

Fonte: (MME/EPE, 2020.)

4.4.1 BIOCOMBUSTIVEL

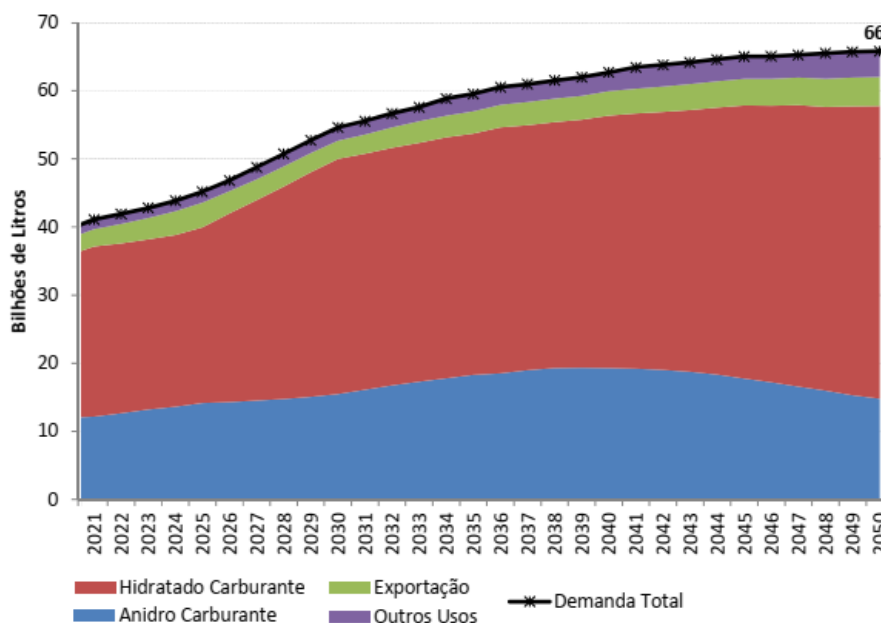
Segundo (MME/EPE, 2020.), os novos biocombustíveis, tais como o etanol lignocelulósico, a gasolina verde, o diesel verde, o bioquerosene de aviação e os biocombustíveis para uso marítimo se apresentam como possíveis substitutos aos seus similares de origem fóssil. O diesel verde encontra-se em processo de regulamentação. O bioquerosene de aviação também desponta como uma opção para o futuro, dados os acordos internacionais, como o CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation), aprovado pela ICAO (International Civil Aviation Organization). Este instrumento baseado em condições de mercado reforça a obrigação da indústria de aviação em mitigar as emissões de CO₂e (ou GEE) de suas operações internacionais.

Em relação às unidades de produção de etanol, a perspectiva de que o segmento venha aumentar a baixo da média do setor energético, ou que se deve em grande parte a entrada de Veículos híbridos e elétricos, ajudando a conter a demanda por etanol. Além disso, o aproveitamento dos potenciais médios de eficiência existentes em unidades mistas e destilarias brasileiras, fato que afeta a redução da participação do consumo de bagaço de cana de açúcar no setor de energético, ainda

que aumente o valor absoluto desse consumo. Avalia-se que o consumo de bagaço de cana de açúcar para a produção de etanol diminuirá para 1,56 kg de bagaço por litro de etanol, principalmente em função da eficiência da unidade de produção de etanol de primeira geração. (NT DEA 13/15, 2016.).

No Gráfico 13, a seguir, observa a produção de etanol a longo prazo.

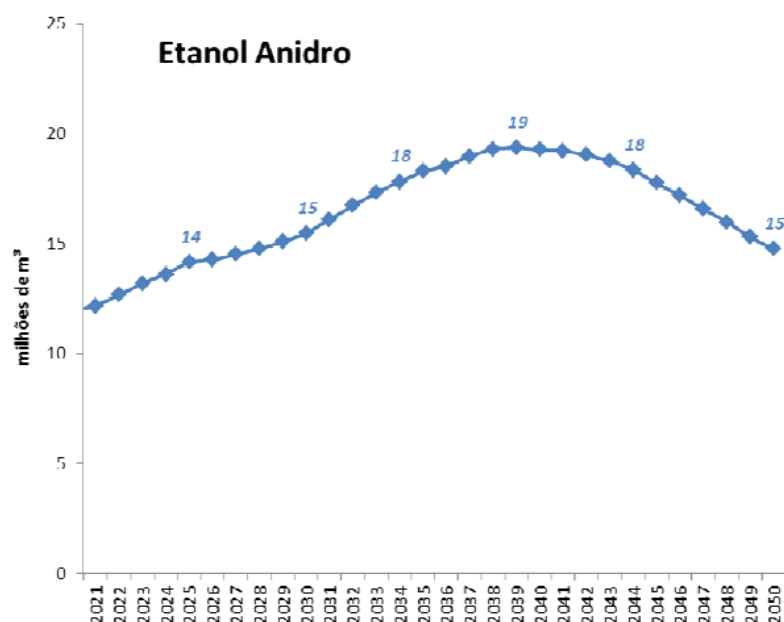
Gráfico 13 - Perspectiva da produção brasileira de etanol em 2050



Fonte: (NT DEA 13/15, 2016.)

No Gráfico 14, a seguir, observa a demanda brasileira por etanol anidro, assumindo que o teor obrigatório do aditivo adicionado na gasolina mantém-se em 27,0% desde de março de 2015, permanecerá neste valor durante todo o período do estudo. Com isso, a demanda por etanol anidro em 2050 alcançará o valor de 14,8 Mm³, projetando um crescimento de 1,2% ao ano depois de passar por um máximo de 19,4 Mm³ no ano de 2039.

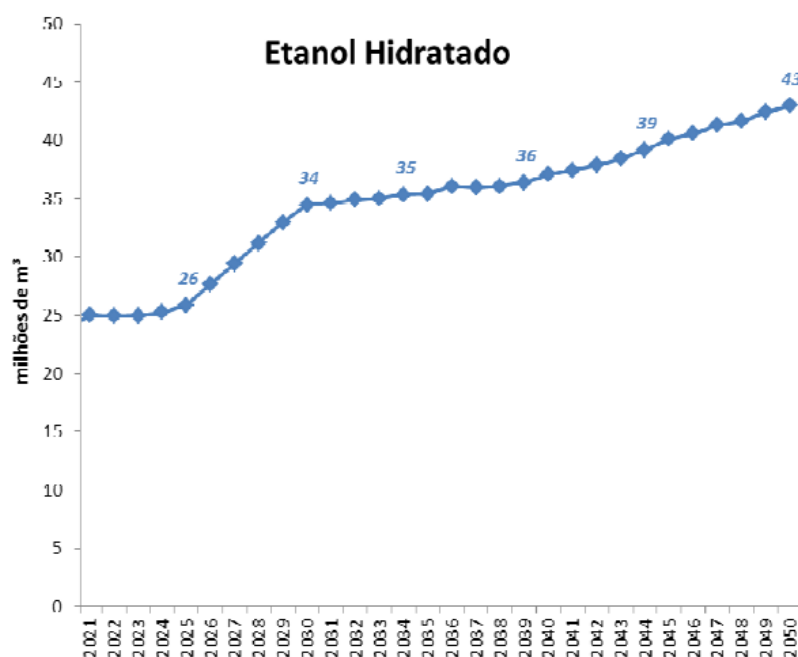
Gráfico 14 – Demanda brasileira por etanol anidro em 2050



Fonte: (NT DEA 13/15, 2016.)

No Gráfico 15, a seguir, observa o etanol hidratado com crescimento de 3,2% ao ano, atingindo um volume de 42,0 Mm³ para o ano de 2050.

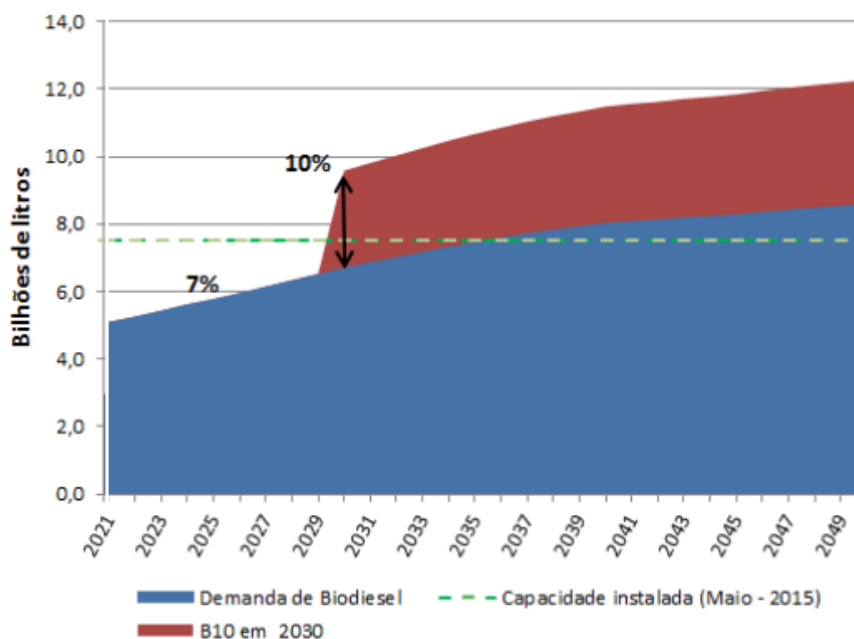
Gráfico 15 - Demanda brasileira por etanol hidratado em 2050



Fonte: (NT DEA 13/15, 2016.)

No Gráfico 16, a seguir, estima-se que a produção brasileira de biodiesel alcance entre 8,5 Bilhões de litros à 12,3 bilhões de litros no ano de 2050, decorrente da adição mandatória de percentual de 7,0% à 10,0% ao diesel total no Brasil.

Gráfico 16 - Perspectiva da produção brasileira de biodiesel em 2050

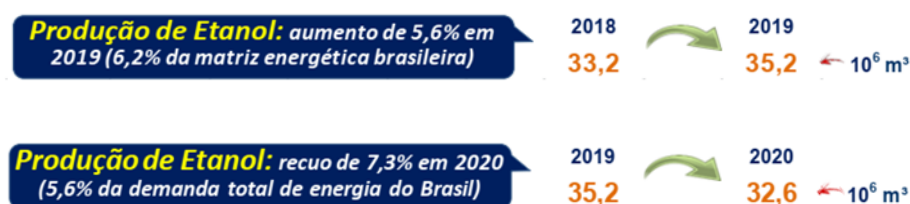


Fonte: (NT DEA 13/15, 2016.)

4.4.2 ETANOL E BIODIESEL

Na Figura 11, a seguir, a produção de etanol teve um aumento de 5,6% em 2019, 6,2% na matriz energética. Em 2020, houve um recuo de 7,30% na produção, 5,6% da demanda total de energia.

Figura 11 - Produção de Etanol em 2018/2019/2020 (m³)



Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

Na composição da oferta de produtos da cana de açúcar, o etanol corresponderam a 16,2 Mtep, 29,5%, e o bagaço de cana de açúcar de 38,7 Mtep, 70,5%. Na matriz energética brasileira, o bagaço representou 13,4%, e o etanol, 5,6%.

A produção de etanol em 2020 foram de 32,6 milhões de metros cúbicos (Mm³), mostrando uma redução de 7,3% em relação a 2019 (+ 5,6% em 2019, + 19,9% em 2018, - 2,1% em 2017 e – 7,0% em 2016). Em 2020, o consumo rodoviário foi de 29,6 m³, uma redução de 12,4%. O Brasil é exportador líquido de etanol em 2020 com 1.068 Mm³, 496.000 m³ em 2019.

Na Figura 12, a seguir, a produção de biodiesel teve um aumento de 10,7% em 2019, 1,62% na matriz energética. Em 2020, houve outro aumento de 8,60% na produção, 1,9% da demanda total de energia.

Figura 12 - Produção de Biodiesel 2018/2019 e 2020 (mil m³)



Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

Em 2020, cerca de 40 usinas produziam biodiesel. A maior expansão em termos de volume de fabricação aconteceram no estado do Rio Grande do Sul, com 162,0 Mm³ e logo após, o estado do Paraná com 150,0 Mm³ e no estado do Mato Grosso do Sul com 97,0 Mm³. Três estados responderam por 80% de ampliação. O estado do Tocantins teve a maior taxa de ampliação de 53,0%. (MME/EPE, 2020.)

No Quadro 18, a seguir, observa a produção de biodiesel em 2020 que foi de 6.432 Mm³, um aumento de 8,6% em relação a 2019), o que corresponde à 12,1% do diesel total produzido no ano.

Quadro 18 - Produção de Biodiesel - por Estado Brasileiro (mil m³)

Ano	BA	GO	MT	MG	PR	PI	SP	TO	RS	RO	MS	RJ	SC	TOTAL
2019	454	865	1.226	131	659	0	231	92	1.630	16	351	138	130	5.924
2020	439	878	1.231	132	809	40	233	142	1.792	7	448	141	140	6.432
%n/n-1	-3,5	1,6	0,4	0,6	22,8	...	0,8	53,4	9,9	-56,8	27,6	2,6	7,3	8,6
%n	6,8	13,7	19,1	2,1	12,6	0,6	3,6	2,2	27,9	0,1	7,0	2,2	2,2	100,0

Fonte: (Resenha Energética Brasileira, 2021.)

5 RESULTADO E DISCUSÕES

O cenário do estudo do trabalho demonstra que para manter uma capacidade de instalação e contratada no SIN, as UHEs irão crescer apenas 0,18% para o ano de 2025 e estabilizando ao chegar no ano de 2030. Ao contrário, as PCHs e CGHs possuem uma estimativa melhor com um crescimento de 11,15 % para o ano de 2025, que também por sua vez, estabiliza no final desta década.

Não se descarta a possibilidade dessas usinas, centrais e geradoras de energia hidrelétrica fazerem uma expansão da energia em sistemas interligados, gerando muitos benefícios para a matriz energética no Brasil. Lembrando que existem muitos problemas socioeconômicos e de mudanças climáticas para a expansão dessa tecnologia de geração de energia elétrica.

A expansão das UHRs podem ser complementadas por térmicas de backup e armazenamento de longo prazo, mas simulações financeiras de mercado de capacidade indicam que gerariam um elevado custo para o consumidor e não seria capaz de viabilizar a contratação dos projetos indicados para expansão, que no restante do mundo são economicamente viáveis.

A energia eólica e energia solar observa-se a evolução da instalação existente e contratada do SIN, ilustrando a diversidade da composição desta oferta em 2020, 2025 e 2030, sem levar em consideração a expansão indicativa, 32,43%. No entanto, identifica-se um crescimento relevante no conjunto correspondendo um aumento de 4,0% na capacidade instalada já em implantação no ano de 2020 até o final do ano de 2030.

Outro aspecto importante da energia eólica e energia solar é a possibilidade de hibridização, de modo que compartilhem as instalações, novas e já existentes, para conexão e a capacidade de escoamento da energia produzida por essas fontes.

A energia eólica e a energia solar irão protagonizar as fontes renováveis de energia nos próximos anos e décadas, onde estimam que empregos diretos e indireto devem triplicar no mundo todo, passando de 1,2 milhões no ano de 2018 para próximo de 4 milhões para o ano de 2030. A GD na escala de mini geração em residências, comércios e zonas rurais, para escolha de consumidores que desejam gerar sua própria energia elétrica, chegando a potência instalada, em 2030, 10,0 GWp com

energia gerada de 1.523 MW_{médio}, 1,3% da carga total do SIN. Com as “Novas Políticas”, 20,0 GWp, 3.001, MW_{médio}, 2,6%, respectivamente.

Observa-se que a participação da biomassa haverá um aumento na sua capacidade instalada de 4,1% onde a contrata ficará estagnada no ano de 2025 e permanecendo praticamente inalterada para o ano de 2030. O etanol estima-se para o ano de 2050, a produção de 66,0 Mm³, onde a demanda por etanol anidro alcançará o valor de 14,8 Mm³, projetando um crescimento de 1,2% ao ano depois de passar por um máximo de 19,4 Mm³ para o ano de 2039. O etanol hidratado a demanda para o mesmo ano de 42,0 Mm³, com estimativa de crescimento de 3,2% ao ano. O biodiesel, por sua vez, estima-se que a produção brasileira antiga entre 8,5 Mm³ à 12,3 Mm³ para o ano de 2050.

A energia elétrica, o consumo residencial crescerá em função do aumento do número de consumidores residenciais, 1,6% ao ano, chegando a 87,0 milhões em 2030 atingindo 197,0 kWh/mês no final de 2030, 1,8% ao ano, onde o consumo pelo consumidor nos primeiros cinco anos excedeu o nível máximo histórico de 179,0 kWh/mês, para o ano 1998.

Observa no cenário do estudo que os veículos elétricos entrarão no mercado brasileiro no ano de 2025, onde representarão 0,5% do licenciamento de veículos leves e para o ano de 2050, representarão 15,0%. A demanda de eletricidade da frota elétrica alcançará 30,0 MWh, ou 348.600 Tep para o ano de 2050.

6 CONCLUSÃO

A pandemia Covid-19 demonstra que as fontes renováveis energia podem ser uma boa maneira de atender à demanda por recuperação energética, pois não têm impacto ambiental significativo e são consideradas uma alternativa para aumentar ainda mais a matriz energética no Brasil e no mundo.

As fontes renováveis de energia oferecem boas perspectivas e grande número de projetos em curto e médio prazo, apesar das consequências da pandemia Covid-19 no mercado global. Esses projetos ainda estão fortemente ligados ao retorno, com pouca ênfase na transformação digital e melhor estrutura, o que pode ser um ponto chave na evolução do mercado.

Os avanços tecnológicos são fundamentais para quebrar o modelo de negócios, possibilitando às empresas embarcarem em um caminho mais voltado para tomadas de decisões mais ágeis. No Brasil, as perspectivas de mudança para as fontes renováveis de energia são claras, principalmente nas fontes de energia eólica e energia solar em cenários de expansão futuras.

A energia solar é uma forma interessante de geração de energia para pequenas e médias empresas que podem pedir financiamentos e instalarem infraestruturas capazes de atender a demanda. Com isso, é possível calcular o consumo médio e ajustar as parcelas para que o valor pago no financiamento sejam o mesmo e, após um determinado período, toda a energia elétrica está disponível para consumo.

A energia eólica começa a se destacar principalmente pela grande disponibilidade de espaço e pela localização, com longas rajadas de ventos em vários pontos do território brasileiro. A tecnologia torna áreas, até então despovoadas e que não receberiam investimentos, ideais para posicionar a infraestrutura de geração, sendo essencial na evolução das energias renováveis.

No entanto, após análises de crescimento da energia eólica e energia solar que praticamente nenhum país se move rápido o suficiente para evitar o aquecimento global de 1,5°C, a 2°C para o ano de 2030, de acordo com o cenário do estudo, onde constituem em medir e prever o desenvolvimento linear onde ao contrário, o crescimento geralmente segue uma curva chamada de S, acelerando exponencialmente e logo após estabilizando por um período de tempo e, finalmente, desacelerando à medida que o mercado fica saturado.

E resumo, de todos acordos climáticos assinados por muitos governantes do mundo todo, em várias reuniões climáticas por três décadas atrás, necessitam serem postos em prática, em caráter de urgência, para que não seja tarde ao ponto de as próximas gerações a vir, não sejam prejudicadas ou até mesmo na pior das hipóteses, serem erradicadas para sempre.

7 REFERENCIAS

(ABDIB, 2021.). **Hidrelétricas reversíveis podem dar suporte para eólica e solar e atender horários de picos.** Disponível em: <

<https://www.abdib.org.br/2021/04/13/hidreletricas-reversiveis-podem-dar-suporte-para-eolica-e-solar-e-atender-horarios-de-picos/> > Acesso em: 05 nov. 2021.

ARAUJO, Gabriel. (ARAUJO, 2021.). **Construção de PCHs no Brasil deve avançar 30% após lei fixar contratação mínima.** Disponível em: <

<https://www.cnnbrasil.com.br/business/construcao-de-pchs-no/> > Acesso em: 15 set. 2021.

AdaptaClima. [S.l.:s.d.] (AdaptaClima, s.d.). **Adaptação à mudança do clima.**

Disponível em: < <http://adaptaclima.mma.gov.br/adaptacao-a-mudanca-do-clima> >

Acesso em: 03 de set. de 2021. Referências do texto: (GVces, 2013.), (IPCC, 2014.), (GVces, 2016), (BRASIL, 2009.), (MCTI, 2016.) e (UNFCCC, 1992.)

BARBOSA, Vanessa. (BARBOSA, Vanessa, 2021.). **Crise hídrica e de energia — o que o Brasil pode fazer para evitar novos "choques" na era das mudanças climáticas.** Disponível em: <

<https://umsoplaneta.globo.com/sociedade/noticia/2021/07/12/crise-hidrica-e-de-energia-o-que-o-brasil-pode-fazer-para-evitar-novos-choques-na-era-das-mudancas-climaticas.ghtml> > Acesso em: 30 ago.2021.

BRANDÃO, Roberto. (BRANDÃO, Roberto, 2021.). **Análise da viabilidade de investimentos em UHRs no Bras.** Disponível em: <

http://gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/05_Gesel-Workshop-An%C3%A1lise-da-viabilidade-de-investimentos-em-UHRs-no-Brasil-09.04.2021.pdf > Acesso em: 30 ago.2021.

Canal Jornal da Bioenergia. (CJB, 2021.).**Eólica: um mercado em expansão.**

Disponível em: < <https://www.canalbioenergia.com.br/eolica-um-mercado-em-expansao/> > Acesso em: 05 nov. 2021.

(CNPQ, 2020.). **Conferência Nacional de PCHs CGHs discute energia renovável e perspectivas pós COVID-19.** Disponível em: <

<https://abrapch.org.br/2020/09/conferencia-nacional-de-pchs-cghs-discute-energia-renovavel-e-perspectivas-pos-covid-19/> > Acesso em: 05 set. 2021.

Revista Exame (COP26, 2021.). **COP26: quatro perguntas e respostas para entender como será a conferência MUNDO.** Disponível em: <

<https://exame.com/mundo/4-perguntas-cop26/>> Acesso em: 02 nov. 2021.

DIUANA, Fabio A., MORAIS, Rafael. e VIVIESCAS, Cindy (DIUANA; MORAIS ; VIVIESCAS, 2021.). **Setor elétrico**. Disponível em: < <https://pp.nexojornal.com.br/glossario/Setor-el%C3%A9trico>. > Acesso em: 19 de ago. de 2021.

International Energy Agency (EIA, 2021.). Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/renewable-power>> Acesso em: 02 nov. 2021.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019. – Rio de Janeiro: (EPE, 2020.)

Bases para a Consolidação da Estratégia Brasileira do Hidrogênio (EPE-DEA-NT-003/2021, 2021.). **Hidrogênio_23Fev2021NT (1).pdf**. Disponível em: < [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20\(2\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-569/Hidroge%CC%82nio_23Fev2021NT%20(2).pdf) > Acesso em: 03 de set. de 2021.

Energia eólica: um pilar para a recuperação da economia global. (GWEC, 2020.). **Green-Recovery-Statement.pdf**. Disponível: < <https://gwec.net/wp-content/uploads/2020/06/PT-Green-Recovery-Statement.pdf> > Acesso em: 07 nov. 2021.

Alterações Climáticas 2014 (IPCC, 2014.). **Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade - Resumo para Decisores. Contribuição do Grupo de Trabalho II para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas** [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea e L.L. White (eds.)]. Organização Meteorológica Mundial (WMO), Genebra, Suíça, 34 págs. (em Árabe, Chinês, Inglês, Francês, Russo e Espanhol) Disponível em: < https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wg2_spmport-1.pdf > Acesso em: 03 de nov. de 2021.

(KEVIN, Damásio, 2020.). **Emissões de gases estufa aumentam no Brasil – atividades rurais lideram**. Disponível em: < <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2020/11/emissoes-de-gases-estufa-aumenta-no-brasil-atividades-rurais-lideram> > Acesso em: 14 de nov. de 2021.

Plano Decenal de Expansão de Energia 2027 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **02 - Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE 2027.pdf**. Brasília: (MME/EPE, 2018.)

Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia - PDE 2029.pdf**. Brasília: (MME/EPE, 2020.)

Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **PDE 2030_RevisaoPosCP_rv2.pdf**. Brasília: (MME/EPE, 2021.)

Plano Nacional de Energia 2050 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: (MME/EPE, 2020.)

Estudos de Longo Prazo. (NOTA TÉCNICA PR 07/18, 2018.) . **Oferta de Energia Elétrica – Premissas e Condicionantes no Horizonte 2050**. Disponível em: Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-456/NT%20PR%20007-2018%20Premissas%20e%20Custos%20Oferta%20de%20Energia%20EI%C3%A9trica.pdf> > Acesso em: 05 set. 2021.

Estudos da Demanda de Energia (NT DEA 13/15, 2016.). **Demanda de Energia 2050.pdf**. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-458/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf> > Acesso em: 12 de out. de 2021.

Recursos Energéticos (NT PR 04-18, 2018.). **Potencial de Recursos Energéticos no Horizonte 2050.pdf**. Disponível em: < [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/03.%20Potencial%20de%20Recursos%20Energ%C3%A9ticos%20no%20Horizonte%202050%20\(NT%20PR%2004-18\).pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-416/03.%20Potencial%20de%20Recursos%20Energ%C3%A9ticos%20no%20Horizonte%202050%20(NT%20PR%2004-18).pdf) > Acesso em: 08 de set. de 2021.

NOTA TÉCNICA Nº (NT- EPE-PR-001/2020-r2, 2020.). **Roadmap eólica offshore brasil**. Disponível em: < https://politica.estadao.com.br/blogs/fausto-macedo/wp-content/uploads/sites/41/2020/03/roadmap-eolica-offshore-epe-versao-r1_030320204008.pdf > Acesso em: 05 nov. 2021.

Cherp, A., Vinichenko, V., Tosun, J. et al. (Nat Energy 6, 742–754, 2021.). **National growth dynamics of wind and solar power compared to the growth required for global climate targets**. Disponível em: < <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00863-0> > Acesso em: 05 nov. 2021.

(Observatório do Clima, 2021.). **Investimento em energia limpa precisa triplicar nesta década, diz agência**. Disponível em: < <https://www.oc.eco.br/investimento-em-energia-limpa-precisa-triplicar-nesta-decada-diz-agencia/> > Acesso em: 02 nov. 2021.

(PASSARINHO, Nathalia, 2021.). **COP26: ministro do meio ambiente anuncia nova meta climática, com redução de 50% das transferências até 2030 | SENGE-SC | Sindicato dos Engenheiros de Santa Catarina**. Disponível em: <<https://www.senge-sc.org.br/cop26-ministro-do-meio-ambiente-anuncia-nova-meta-climatica-com-reducao-de-50-das-emissoes-ate-2030/>>. Acesso em: 16 nov. 2021.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). (PMO, 2021.). **Evolução Da Capacidade Instalada No SIN - DEZ2021/DEZ2025**. Disponível em: < <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros> > Acesso em: 02 nov. 2021.

(Portaria MME nº 465/2019, 2019.). **MME-publica-Portaria-465-2019-visando-abertura-do-mercado-livre.pdf**. Disponível em: < <https://lefosse.com/wp-content/uploads/2020/03/MME-publica-Portaria-465-2019-visando-abertura-do-mercado-livre.pdf> > 14 de nov. de 2021.

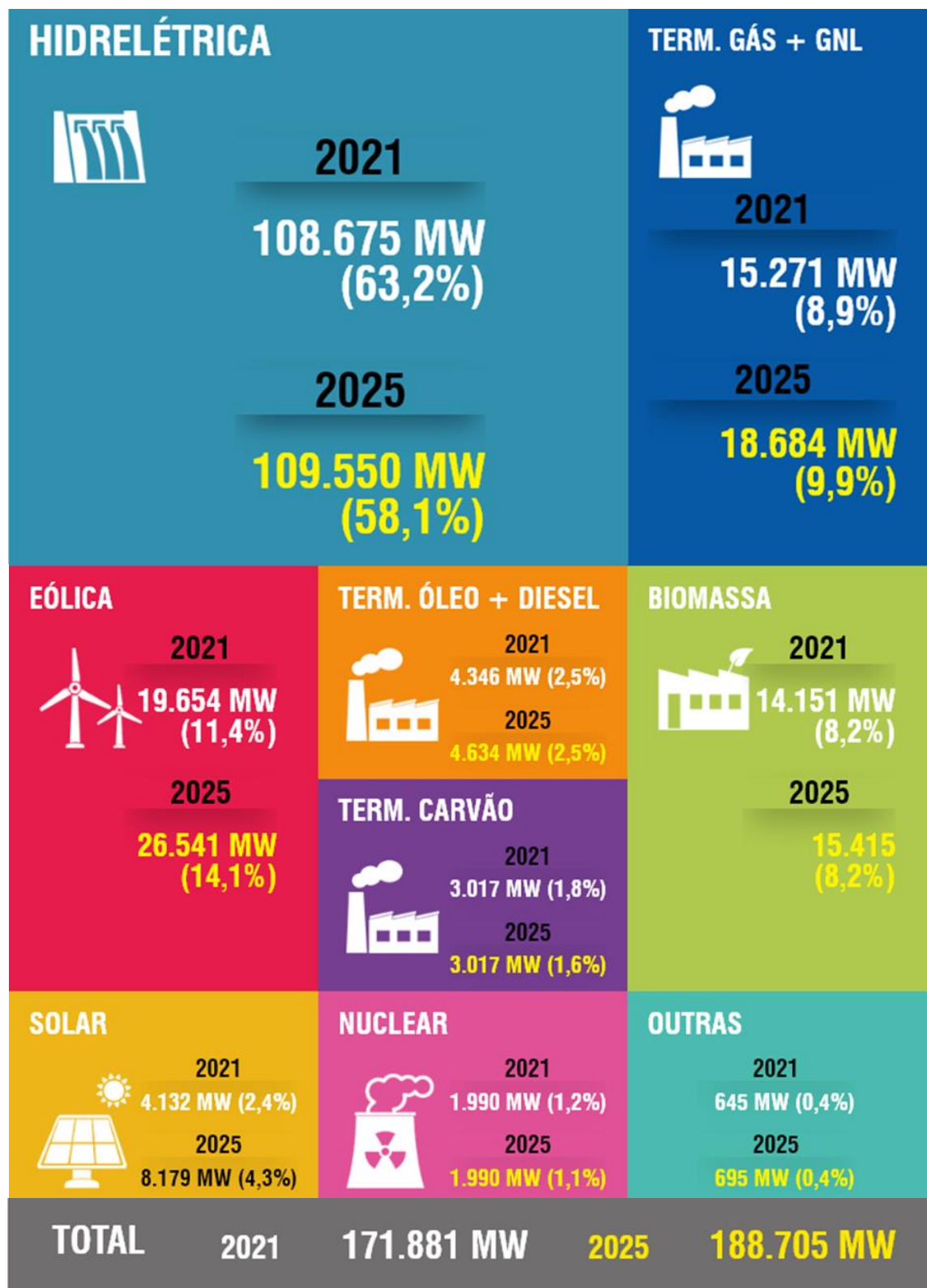
Resenha Energética Brasileira. (Resenha Energética Brasileira, 2021.). **Oferta e Demanda de Energia, Instalações Energéticas e Energia no Mundo**. Disponível em: < <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/ResenhaEnergticaExerccio2020final.pdf> > Acesso em: 08 de ago. de 2021.

STORFER Andrew F. (STORFER, 2021.). **Perspectivas para o setor de PCHs e CGHs são modestas em 2021, segundo CEO da América Energia**. Disponível em: < <https://fullenergy.grupomidia.com/perspectivas-para-o-setor-de-pchs-e-cghs-sao-modestas-em-2021-segundo-ceo-da-america-energia/> > Acesso em: 18 out. 2021.

Mais de 80 países prometem reduzir emissões de metano em 30% até 2030 | Notícias internacionais e análises | DW | 02.11.2021. [S.l.:s.d.] Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/mais-de-80-pa%C3%ADses-prometem-reduzir-emiss%C3%B5es-de-metano-em-30-at%C3%A9-2030/a-59699122>. Acesso em: 14 de nov. de 2021.

ANEXO A

Evolução a Capacidade Instalada no Sin – Dez/2021 – Dez/2025



Fonte: (PMO, 2021.)

ANEXO B



Fonte: (MME/EPE, 2021.)

ANEXO C

Tabela A II-1 – Geração Centralizada: Evolução da Capacidade Instalada por Fonte de Geração para a Expansão de Referência

FONTE ^(a)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
RENOVÁVEIS	141426	143274	144292	145762	147163	149190	153282	157633	162320	167203	171015
HIDRO ^(b)	101891	101891	101891	101953	101953	102095	102687	103541	104729	106114	106427
OUTRAS RENOVÁVEIS:	39535	41383	42402	43810	45210	47096	50594	54092	57591	61089	64587
PCH e CGH	6617	6879	7117	7166	7239	7355	7655	7955	8255	8555	8855
EÓLICA	15870	17086	17149	18070	19320	20356	22731	25106	27481	29856	32230
BIOMASSA(c) + BIOGÁS	13939	14017	14090	14325	14371	14606	14698	14790	14882	14974	15066
SOLAR CENTRALIZADA	3110	3401	4046	4249	4279	4779	5511	6242	6974	7705	8436
NÃO RENOVÁVEIS	23763	25140	24833	26759	22595	19110	19984	22060	22383	24383	26383
URÂNIO	1990	1990	1990	1990	1990	1990	1990	3395	3395	3395	3395
GÁS NATURAL(d)(e)	14326	15416	15108	17227	14638	12686	14107	16239	18005	20005	22005
CARVÃO	3017	3017	3017	3017	3017	3017	3017	1937	695	695	695
ÓLEO COMBUSTÍVEL(f)	3486	3486	3486	3486	2485	953	582	201	0	0	0
ÓLEO DIESEL(f)	943	1231	1231	1039	464	464	288	288	288	288	288
TOTAL DO SIN	165189	168414	169125	172521	169757	168301	173266	179693	184703	191586	197397
Itaipu 50Hz (g)	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000	7000
TOTAL DISPONÍVEL	172189	175414	176125	179521	176757	175301	180266	186693	191703	198586	204397

Notas:

- (a) A evolução não considera a autoprodução de uso exclusivo que, para os estudos energéticos, é representada como abatimento de carga. A evolução da participação da autoprodução de energia é descrita no Capítulo II.
- (b) Os valores da tabela indicam a potência instalada em dezembro de cada ano, considerando a motorização das UHE.
- (c) Inclui usinas a biomassa com CVU > 0 e CVU = 0 (bagaço de cana). Para as usinas a bagaço de cana, os empreendimentos são contabilizados com a potência instalada total.
- (d) Em gás natural, é incluído também o montante de gás de processo.
- (e) Alternativa Indicativa de Ponta: contempla termelétricas a ciclo aberto e tecnologias de armazenamento.
- (f) Usinas termelétricas movidas a óleo diesel e óleo combustível são retiradas do Plano de Expansão de Referência nas datas de término de seus contratos.
- (g) Parcela da UHE Itaipu pertencente ao Paraguai, cujo excedente de energia é exportado para o mercado brasileiro.

Fonte: (MME/EPE, 2021.)

ANEXO D

Tabela A II-2 - Geração Centralizada: Expansão da Capacidade Instalada por Fonte de Geração (incremento anual)

FONTE^(a)	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
RENOVÁVEIS	-	1848	1019	1470	1400	2028	4091	4352	4687	4883	3812	29589
HIDRO ^(b)	-	0	0	62	0	142	593	854	1189	1384	313	4536
OUTRAS RENOVÁVEIS:	-	1848	1019	1408	1400	1886	3498	3498	3498	3498	3498	25052
PCH e CGH	-	262	238	49	73	116	300	300	300	300	300	2238
EÓLICA	-	1216	63	920	1251	1035	2375	2375	2375	2375	2375	16360
BIOMASSA(c) + BIOGÁS	-	78	72	235	46	235	92	92	92	92	92	1127
SOLAR CENTRALIZADA	-	291	645	204	30	500	731	731	731	731	731	5327
NÃO RENOVÁVEIS	-	1378	-308	1926	-4164	-3485	874	2076	323	2000	2000	2620
URÂNIO	-	0	0	0	0	0	0	1405	0	0	0	1405
GÁS NATURAL(d)(e)	-	1090	-308	2118	-2588	-1952	1420	2132	1766	2000	2000	7678
CARVÃO	-	0	0	0	0	0	0	-1080	-1242	0	0	-2322
ÓLEO COMBUSTÍVEL(f)	-	0	0	0	-1000	-1532	-371	-381	-201	0	0	-3486
ÓLEO DIESEL(f)	-	288	0	-192	-576	0	-176	0	0	0	0	-655
TOTAL DO SIN	-	3225	711	3396	-2764	-1457	4965	6427	5010	6883	5812	32208
Itaipu 50Hz (g)	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL DISPONÍVEL	-	3225	711	3396	-2764	-1457	4965	6427	5010	6883	5812	32208

Notas:

(a) A evolução não considera a autoprodução de uso exclusivo que, para os estudos energéticos, é representada como abatimento de carga. A evolução da participação da autoprodução de energia é descrita no Capítulo II.

(b) Os valores da tabela indicam a potência instalada em dezembro de cada ano, considerando a motorização das UHE.

(c) Inclui usinas a biomassa com CVU > 0 e CVU = 0 (bagaço de cana). Para as usinas a bagaço de cana, os empreendimentos são contabilizados com a potência instalada total.

(d) Em gás natural, é incluído também o montante de gás de processo.

(e) Alternativa Indicativa de Ponta: contempla termelétricas a ciclo aberto e tecnologias de armazenamento.

(f) Usinas termelétricas movidas a óleo diesel e óleo combustível são retiradas do Plano de Expansão de Referência nas datas de término de seus contratos.

(g) Parcela da UHE Itaipu pertencente ao Paraguai, cujo excedente de energia é exportado para o mercado brasileiro.

Fonte: (MME/EPE, 2021.)

ANEXO E

Tabela A-III-1 - Evolução da Expansão Indicativa no Cenário de Referência

Fontes	Resumo da Expansão do Sistema - Potência Instalada (MW)						Investimento até 2030 (Milhões R\$)
	2026	2027	2028	2029	2030	Total	
Biomassa	80	80	80	80	80	400	1600
Eólica NE	2375	2375	2375	2375	2375	11875	53436
Fotovoltaica SE	731	731	731	731	731	3657	14628
Gás Natural CA Distribuidora	2000	2000	2000	2000	2000	10000	34000
Gás Natural CA Sul	0	617	135	0	0	751	2555
PCH Sul	300	300	223	0	0	823	4115
PCH SE	0	0	77	300	300	677	3385
Resíduos Sólidos Urbanos	12	12	12	12	12	60	1176
Termelétrica Retrofit	1082	500	350	0	0	1932	3777
UHE	547	854	1214	1381	277	4272	6476
TOTAL	7128	7469	7197	6879	5775	34447	125148

Nota: apresenta a potência instalada total, conforme ano de indicação do Modelo de Decisão de Investimentos (MDI)

Tabela A-III-2 - Evolução da Expansão Indicativa no Cenário de Demanda Inferior

Fontes	Resumo da Expansão do Sistema - Potência Instalada (MW)						Investimento até 2030 (Milhões R\$)
	2026	2027	2028	2029	2030	Total	
Gás Natural CA Distribuidora	0	0	764	1548	2109	4421	15030
PCH Sul	0	0	0	0	275	275	1377
Termelétrica Retrofit	0	0	204	0	327	531	80651
UHE	0	121	1640	1381	277	3419	5622
TOTAL	0	121	2607	2929	2988	8645	102680

Nota: apresenta a potência instalada total, conforme ano de indicação do Modelo de Decisão de Investimentos (MDI)

Tabela A-III-3 - Evolução da Expansão Indicativa no Cenário de Demanda Superior

Fontes	Resumo da Expansão do Sistema - Potência Instalada (MW)							Investimento até 2030 (Milhões R\$)
	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total	
Eólica NE	0	637	4888	7396	3661	3509	20091	90409
Fotovoltaica SE	0	0	0	0	826	5281	6107	24430
Gás Natural CA Distribuidora	0	6051	3333	2727	817	2454	15382	52299
Gás Natural CA Sul	65	0	0	0	0	0	65	22009
Gás Natural CC Sul	631	0	0	0	0	0	631	2588
PCH Sul	0	823	823	0	0	0	1646	10288
PCH SE	0	1527	0	0	1527	0	3054	19088
Termelétrica Retrofit	878	204	0	0	350	0	1432	3017
UHE	0	547	854	1214	1499	277	4390	7530
TOTAL	1574	9788	9898	11337	8681	11520	52798	231656

Nota: apresenta a potência instalada total, conforme ano de indicação do Modelo de Decisão de Investimentos (MDI)

Fonte: (MME/EPE, 2021.)